



PATENT
Attorney Docket No. **BKP-007**
(9615/9)

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

APPLICANT(S): Michaud et al.
SERIAL NO.: 10/724,519 GROUP NO.: 3611
FILING DATE: November 28, 2003 EXAMINER: Not Yet Assigned
TITLE: MODULAR ROBOTIC PLATFORM

Mail Stop Missing Parts
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

TRANSMITTAL OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY APPLICATION

Sir:

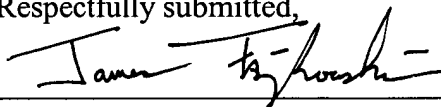
Attached please find a certified copy of Canadian priority application No. 2,412,815 filed on November 27, 2002 for the above-referenced patent application.

Date: May 6, 2004
Reg. No. 54,089

Tel. No.: (617) 310-8414
Fax No.: (617) 248-7100

3060240

Respectfully submitted,



James E. Fajkowski

Attorney for Applicants
Testa, Hurwitz, & Thibault, LLP
High Street Tower
125 High Street
Boston, Massachusetts 02110



Office de la propriété
intellectuelle
du Canada

Un organisme
d'Industrie Canada

Canadian
Intellectual Property
Office

An Agency of
Industry Canada

*Bureau canadien
des brevets
Certification*

*Canadian Patent
Office
Certification*

La présente atteste que les documents
ci-joints, dont la liste figure ci-dessous,
sont des copies authentiques des docu-
ments déposés au Bureau des brevets.

This is to certify that the documents
attached hereto and identified below are
true copies of the documents on file in
the Patent Office.

Mémoire descriptif et dessins, de la demande de brevet no: 2,412,815, tels que
déposés, le 27 novembre 2002, par **UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE**, cessionnaire de
François Michaud, Dominic Létourneau, Martin Arsenault, Yann Bergeron, Richard
Cadrin, Frédéric Gagnon, Marc-Antoine Legault, Mathieu Millette, Jean-François Paré,
Marie-Christine Tremblay, Serge Caron, Jonathan Bisson, Pierre Lepage, Yan Morin,
Martin Deschambault et Hugues Rissmann, ayant pour titre: "Plate-forme Robotique
Mobile et Modulaire Offrant Plusieurs Modes de Locomotion pour Effectuer des
Mouvements Évolués en Trois Dimensions".

Gracy Paulhus
Agent certificateur/Certifying Officer

25 novembre 2003

Date

Canada

(CIPO 68)
04-09-02


OPIC  CIPO

PLATE-FORME ROBOTIQUE MOBILE ET MODULAIRE OFFRANT
PLUSIEURS MODES DE LOCOMOTION POUR EFFECTUER DES
MOUVEMENTS ÉVOLUÉS EN TROIS DIMENSIONS

5

DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne une plate-forme robotique.

10

ARRIÈRE-PLAN TECHNOLOGIQUE

**Apparatus For Controlling Motion Of Normal Wheeled Omni-Directional
Vehicle And Method Thereof. (US Patent number: 5,739,657 ; Date: 14
avril 1998)**

Ce brevet présente une méthode de contrôle pour un véhicule à quatre
roues ayant un pivot indépendant à chaque roue. Il présente les équations et
une méthode de contrôle utilisant le transfert de variables d'un repère relatif à
un repère absolu pour faciliter le contrôle d'un tel robot. Les revendications se
rapportent principalement à la méthode de contrôle.

Ce brevet ne s'applique qu'à des véhicules à roues normales, et le
modèle de contrôle combinant un repère absolu et un repère relatif qu'il
présente est extrêmement simpliste et ne permet pas des modes de
déplacements évolués.

**Wheeled Platforms (Publication number : US2001 / 0047895 A1 ; Date: 6
décembre 2001)**

Cette publication de demande de brevet décrit un concept de robot formé d'une série de paires de roues parallèles montées en chaînes. Il décrit en détail le fonctionnement d'un robot utilisant quatre paires de roues. Ce robot est en mesure de franchir et de gravir des obstacles en modifiant l'angle
5 relatif entre l'axe de ses paires de roues. Il utilise aussi une roue dentée particulière pour faciliter la grippe d'un coin de marche.

La direction de cette plate-forme est imprécise et ses roues frottent au sol lors de virages où de pivots holonomiques. Elle peut surélever seulement
10 sa caméra et non son corps en entier. Elle est uniquement dédiée à la téléprésence, et ne peut pas transporter de charge utile.

Stair Climbing Robot (US Patent number : 4,993,912 ; Date : 19 février 1991)

15 Ce brevet présente un robot utilisant trois paires de roues. Les trois paires de roues sont motrices. L'axe de rotation de la paire d'avant est fixe par rapport au châssis. Les deux axes de rotation des roues arrière sont fixées aux extrémités d'un bras rotatif. Ce bras pivote par rapport au châssis
20 autour d'un axe situé en son centre. Ce robot peut gravir des escaliers en faisant pivoter le bras rotatif, ce qui fait passer les roues arrière d'une marche à l'autre. Ce robot est aussi muni d'un bras manipulateur sur lequel est fixé une caméra.

25 Ce robot est spécialisé dans la montée d'escaliers et ne peut exécuter aucun autre déplacement évolué.

Robotic Platform (US Patent number : 6,263,989 ; Date : 24 juillet 2001)

30

Ce brevet présente un robot utilisant 4 chenilles pour se mouvoir. Les deux premières chenilles sont de part et d'autre du robot à la façon d'un char d'assaut. Les deux autres sont installées à l'avant et peuvent pivoter autour de la roue motrice avant. Le pivot de ces chenilles permet au robot de franchir
5 des obstacles et de franchir des escaliers. Ce robot utilise des chenilles plates munies de barres transversales pour permettre d'agripper les obstacles et les coins de marches.

Lors de virages, il y a un frottement sur toute la longueur de la chenille
10 fixe. Lors de la montée d'escaliers, l'espace entre les crampons de la chenille fait que la montée se fait par coup et n'est pas régulière.

Robot Transport Platform with Multi-Directional Wheels (US Patent number: 5,323,867 ; Date: 28 juin 1994)

15 Ce brevet présente une plate-forme robotique munie de trois roues de chaque côté. Les deux roues centrales sont traditionnelles, tandis que les roues avant et arrière sont multidirectionnelles. Ces roues multidirectionnelles sont munies de petites sphères montées sur toute la circonférence de la roue.
20 Ces sphères sont libres de tourner dans l'axe opposé à la rotation des roues, ce qui permet à ces roues de ne pas frotter au sol lorsque le robot tourne.

Cette plate-forme est une solution directement dédiée au frottement des roues lors de pivots. Elle ne peut donc effectuer des déplacements
25 évolués, en particulier gravir des escaliers.

Mobile Robot (US Patent Number : 6,144,180 ; Date : 7 novembre 2000)

Ce brevet présente un robot muni de quatre pattes situées de part et
30 d'autre du robot. Ces pattes sont un mélange de roue et de pied. Elles sont fixées sur un bras de pivot qui permet soit de déplacer la charge transportée

de l'avant à l'arrière ou encore de faire passer la patte d'arrière en avant et vice-versa. La plate-forme peut donc aussi bien marcher que rouler et elle peut gravir des escaliers.

- 5 Ce robot est spécialisé dans la montée d'escaliers et il aura plus de difficulté à franchir des obstacles quelconques. Sa direction est moins précise et ses roues frottent au sol lors de virages.

SOMMAIRE DE L'INVENTION

10

Pour éliminer les inconvénients discutés ci-dessus, la présente invention concerne une plate-forme robotique mobile et modulaire. Cette plate-forme offre plusieurs modes de locomotion qui lui permettent d'effectuer des mouvements évolués en trois dimensions.

15

DESCRIPTION DÉTAILLÉE D'UN MODE DE RÉALISATION ILLUSTRATIF DE L'INVENTION

- 20 Pour pouvoir développer des applications intelligentes pour robots mobiles, le besoin d'une plate-forme offrant à la fois une grande polyvalence de déplacements, des fonctionnalités de perception, de stockage et de traitement d'information et une flexibilité d'utilisation d'accessoires a été identifié. Cette augmentation de capacités motrices amènent des problématiques qui touchent la mécanique, l'électronique, l'informatique ainsi
- 25 que l'intelligence requise par une telle plate-forme robotique.

- La problématique est donc de concevoir et de fabriquer une plate-forme mécanique mobile autonome en énergie ayant les capacités d'effectuer les déplacements évolués nécessaires pour suivre une personne. Est
- 30 entendu par *déplacements évolués* : avancer, reculer, tourner, pivoter de façon holonomique, se surélever, franchir des obstacles quelconque, gravir

des escaliers et offrir une symétrie dans tous ces mouvements. Elle doit aussi être conçue pour recevoir une intelligence et des accessoires développés par le client pour des applications spécifiques.

1. Description globale

5

La plate-forme robotique est séparée en six systèmes : le **châssis**, la **direction**, la **propulsion**, la **traction** (composée du **bras-tenseur** et de la **chenille-roue**), la **coque** ainsi que les **systèmes électriques et informatiques** (sous-jacent à chacun des autres systèmes). La figure 1
10 permet d'identifier chacun des systèmes de la plate-forme par rapport à l'ensemble. Ces systèmes sont détaillés dans la suite de ce document.

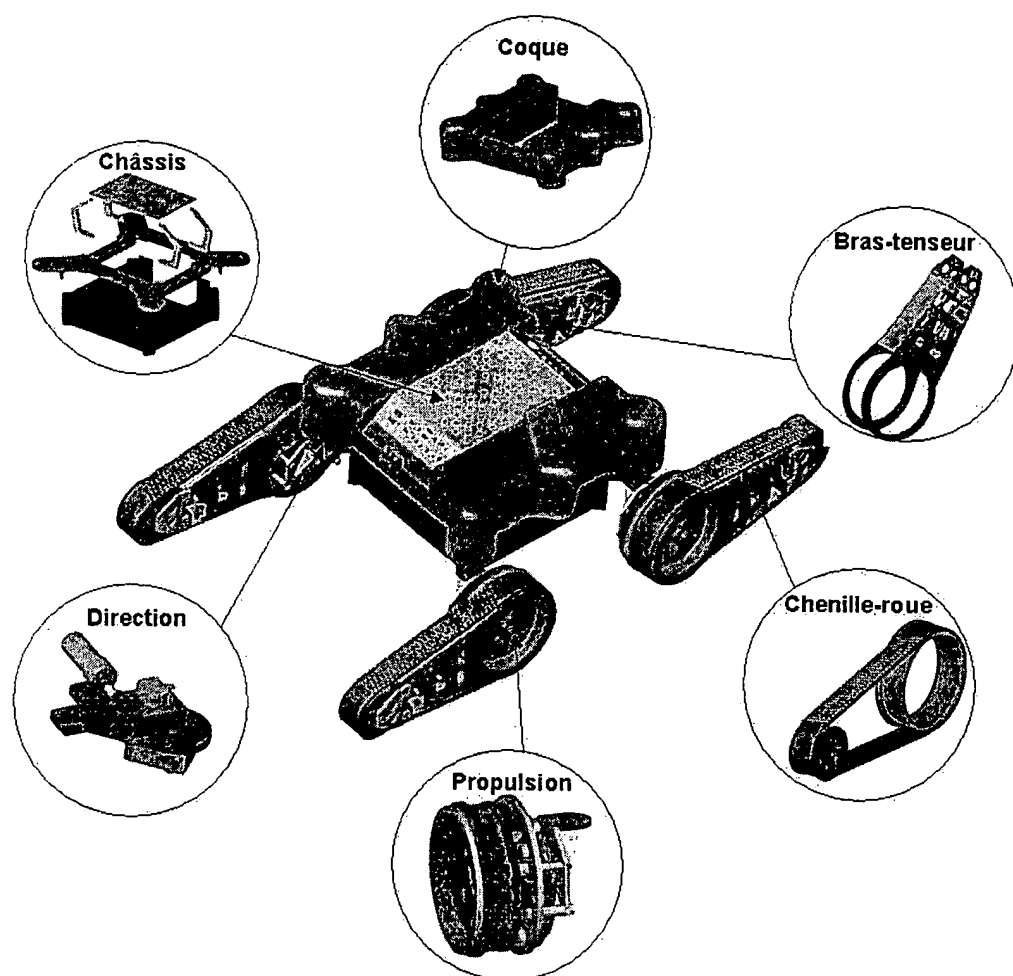


Figure 1 – Concept et systèmes de la plate-forme robotique

1.1 Description générale du fonctionnement de la plate-forme

La plate-forme est composée de quatre pattes. Chacune de ces pattes a trois degrés de libertés de mouvement. Elle peut pivoter sur le plan horizontal par rapport au châssis grâce au système de direction. Elle peut aussi faire tourner le bras-tenseur autour du système de propulsion pour changer la configuration du système de traction. Finalement, le dernier degré de liberté entraîne la rotation de l'ensemble chenille-roues pour faire avancer la plate-forme.

10

Le pivot de direction indépendant aux quatre pattes permet à la plate-forme d'exécuter toute la variété de mouvements présentés par la figure 8. Sa symétrie lui permet de les exécuter dans tous les sens. Le changement angulaire du bras-tenseur permet à la plate-forme d'enjamber les obstacles et de permettre à la chenille d'agripper les coins de marches pour gravir les escaliers. Il permet aussi de surélever la plate-forme lorsque les petites roues sont positionnées sous la plate-forme.

15

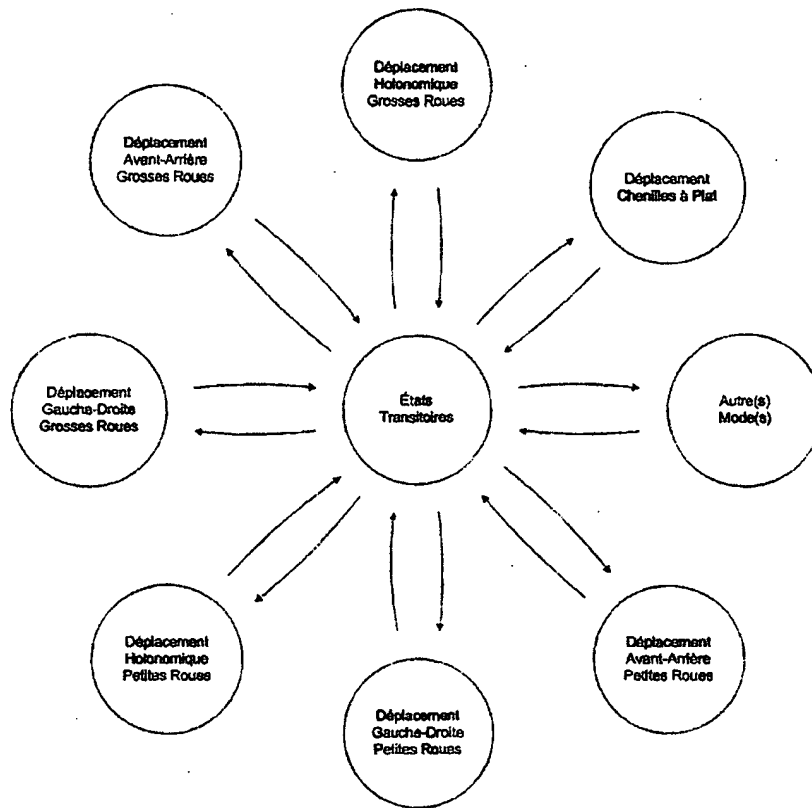


Figure 2 – Modes de fonctionnement du robot

Le contrôle de ces mouvements est divisé en différents modes de déplacement qui sont présentés par la figure 2. Chaque mode prédéfini positionne les pattes selon une configuration particulière, permettant à la plate-forme robotique de se mouvoir de différentes façons.

1.1.1 États Transitoires

Ces états assurent que tous les systèmes sont positionnés de manière sécuritaire et calculent quels mouvements optimisés doivent être faits pour changer d'un mode à l'autre. Chaque mode passe par des états transitoires sécuritaires afin d'éviter les collisions mécaniques.

1.1.2 Déplacement Avant-Arrière Grandes Roues

Les roues positionnées *Avant-Arrière* (i.e. alignées parallèlement sur les côtés de la plate-forme) permettent un mouvement normal au robot. Dans cette position, les petites roues sont vers le haut, presque perpendiculaires au sol et les grandes roues sont au sol.

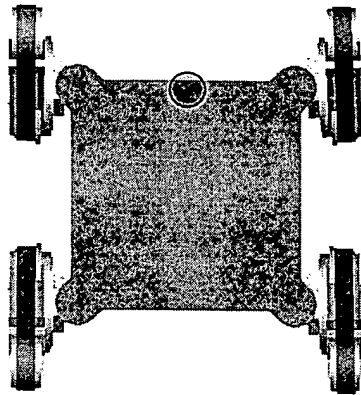
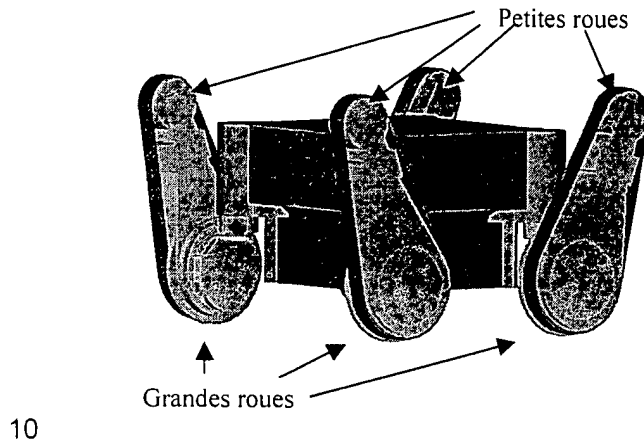


Figure 3 – Déplacement Avant-Arrière Grandes Roues

1.1.3 Déplacement Gauche-Droite Grandes Roues

Les roues positionnées *Gauche-Droite* (i.e. alignées parallèlement à l'avant et à l'arrière de la plate-forme) permettent un mouvement de translation au robot. Dans cette position, les petites roues sont vers le haut, presque perpendiculaires au sol et les grandes roues sont au sol.

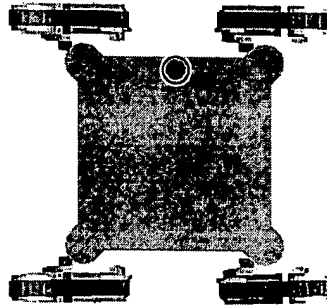


Figure 4 – Déplacement Gauche-Droite Grandes Roues

10 1.1.4 Déplacement Holonomique Grandes Roues

Les roues positionnées en *Étoile* (i.e. l'axe des quatre roues pointe vers le centre de la plate-forme) permettent un mouvement de pivot sans translation au robot. Dans cette position, les petites roues sont vers le haut, presque perpendiculaires au sol, et les grandes roues sont au sol.

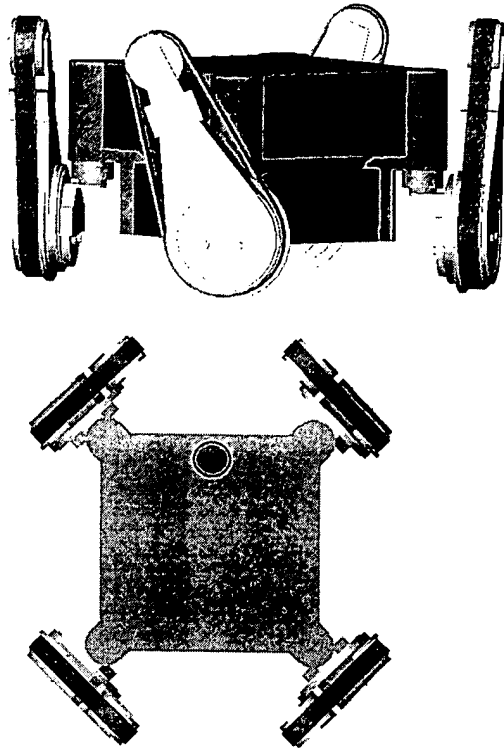


Figure 5 – Déplacement Holonomique Grandes Roues

5 1.1.5 Déplacements sur les petites roues

Tous les mouvements précédents peuvent aussi être réalisés en position surélevée. Dans cette position, les petites roues sont vers le bas, perpendiculaires au sol, et exercent la traction au sol.

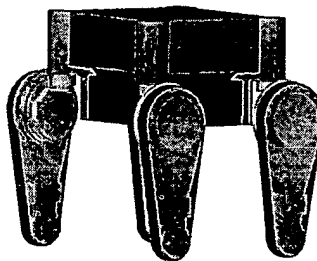


Figure 6 – Déplacements sur les petites roues

1.1.6 Déplacement Chenilles à Plat

Les chenilles positionnées à *Plat* (i.e. les petites roues au même niveau que les grandes) permettent de créer un plan continu de chenilles sous le robot et, ainsi, de gravir les escaliers d'un mouvement fluide, comme s'il s'agissait d'un plan incliné. Ce mode requiert un mode transitoire d'attaque d'escaliers où les bras-tenseur s'abaissent à l'angle d'attaque (environ 45°) et se positionne graduellement à *Plat* à mesure que la première marche est franchie.

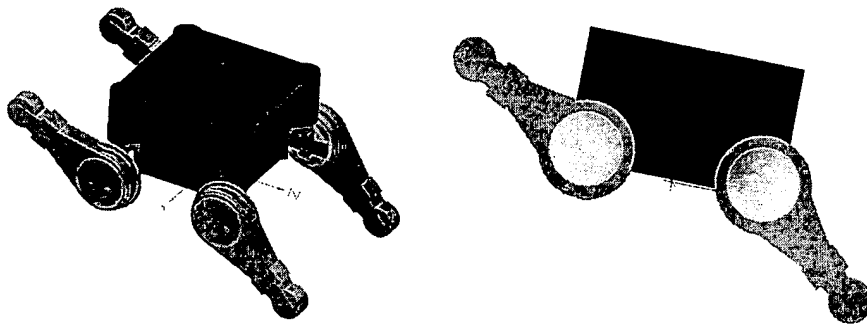


Figure 7 – Déplacement Chenilles à Plat

1.1.7 Autre(s) Mode(s)

D'autres modes peuvent être définis comme étant la combinaison de plusieurs modes ou complètement de nouveaux modes. Par exemple, plusieurs modes seront établis pour franchir divers types d'obstacles, passer dans des espaces étroits (portes), conserver le châssis au niveau lorsque le robot est dans un plan incliné, etc. Chaque patte étant contrôlée individuellement, une grande variété de modes peuvent être générés.

Une séquence de déplacement de la plate-forme utilisant certains de ces modes est présentée à la figure 8.

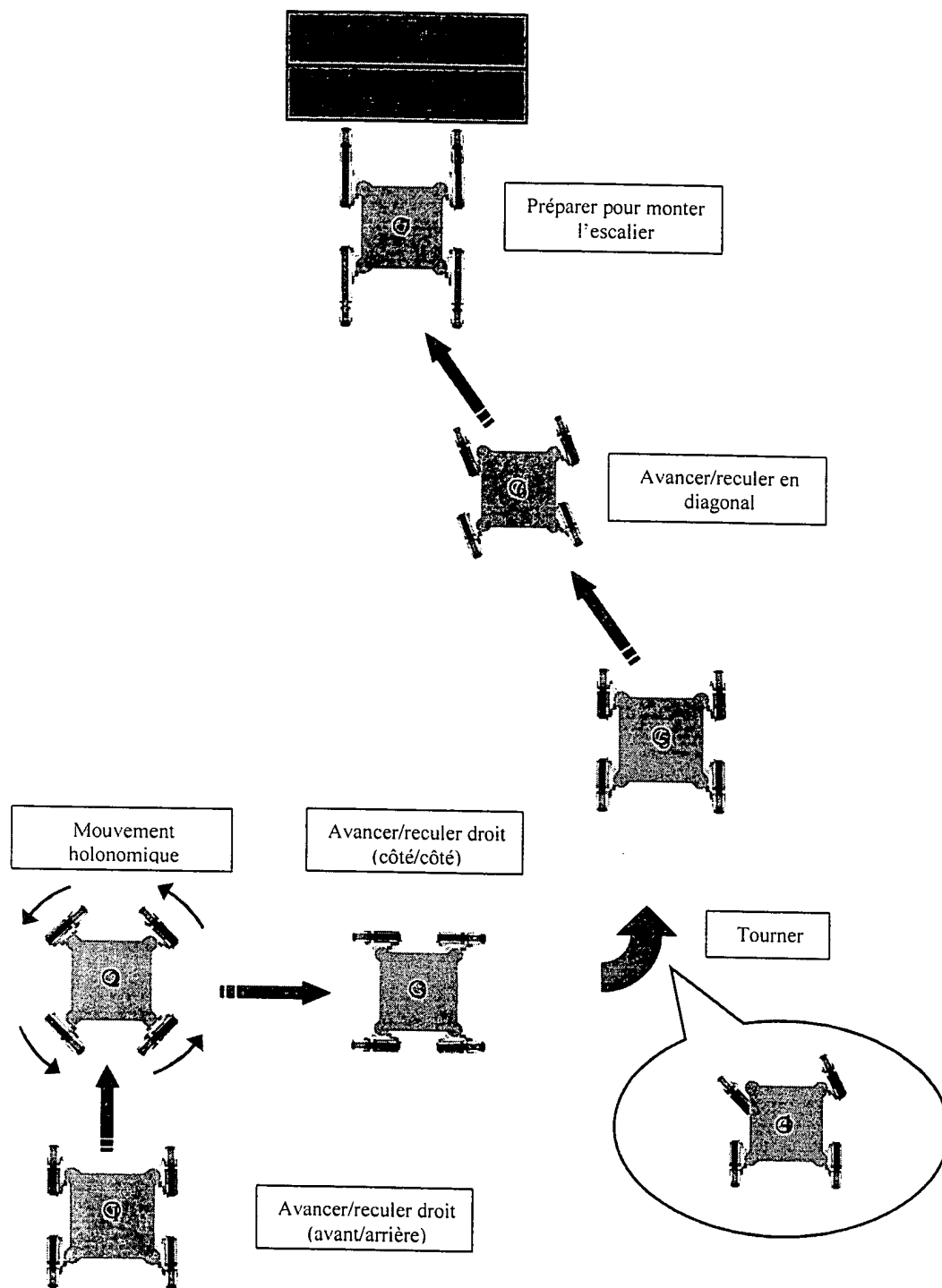


Figure 8 – Mouvements de la plate-forme sur le plat (vue de haut)

1.2 Avantages :

- 5 • **Plusieurs mouvements évolués** : la plate-forme robotique est en mesure de rouler en ligne droite, en diagonale et de tourner. Elle peut effectuer un mouvement holonomique, monter/descendre les escaliers et franchir une grande variété d'obstacles.
- 10 • **Symétrie** : puisqu'elle est symétrique, il est possible de faire tous les mouvements peu importe la direction et de créer plusieurs combinaisons de mouvements.
- 10 • **Gestion indépendante des douze degrés de liberté** : chaque patte est indépendante des autres et présente trois degrés de libertés indépendants en motricité et en contrôle.
- 15 • **Élévation** : elle peut s'élever du sol d'une hauteur d'un peu plus de treize pouces.
- 15 • **Polyvalence** : elle peut être adaptée pour répondre à des applications et des tâches spécifiques ou générales.
- 20 • **Transport d'objets** : des accessoires pour accomplir des tâches ou créer des fonctionnalités peuvent être fixés au-dessus de la plate-forme. Elle est en mesure de transporter une charge utile supplémentaire de 25 lbs à son poids.
- 20 • **Accès aux composantes internes** : elle est conçue par modules pour être facilement démontable et ainsi donner accès rapidement aux composantes électroniques.
- 25 • **Autonomie énergétique** : des piles lui donne l'alimentation énergétique nécessaire pour fonctionner sans l'alimentation par un fil.
- 25 • **Interface usager/plate-forme** : une interface de type écran tactile (style PDA – *Personal Data Assistant*, communément appelé *Palm*) rend accessible à l'utilisateur des informations sur l'état de la plate-forme. L'utilisateur peut aussi donner des commandes ou faire des choix par cet
- 30 écran.

- **Perception** : elle est dotée d'un système de navigation lui permettant de se déplacer et d'interagir avec son environnement.
- **Fonctionnalités évoluées** : les composantes électroniques intégrées donnent la possibilité de programmer des fonctions évoluées pour le comportement de la plate-forme robotique.
- **Apparence** : sa coque colorée est conçue spécialement aux formes du robot et lui donne un *look* accrocheur et avant-gardiste.
- **Adaptation** : plusieurs éléments de la plate-forme robotique peuvent être modifiés sans affecter les fondements de celle-ci, comme : changer la forme de la coque; changer les dimensions de la plate-forme; changer les dimensions des pattes; remplacer des pattes par des roues; remplacer les chenilles ou encore ne pas les mettre; changer de type de batteries, etc.

2. DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES SYSTÈMES MÉCANIQUES

2.1 Système Châssis

Le système Châssis soutient l'ensemble des composantes électriques et électroniques et permet le support sur quatre pattes. Il permet aussi la fixation d'accessoires et le transport de la plate-forme. Pour fin d'explications, le châssis est ici divisé en trois sections : les supports et éléments internes au-dessus et en dessous de la structure centrale, et les éléments externes.

2.1.1 Éléments au-dessus de la structure centrale

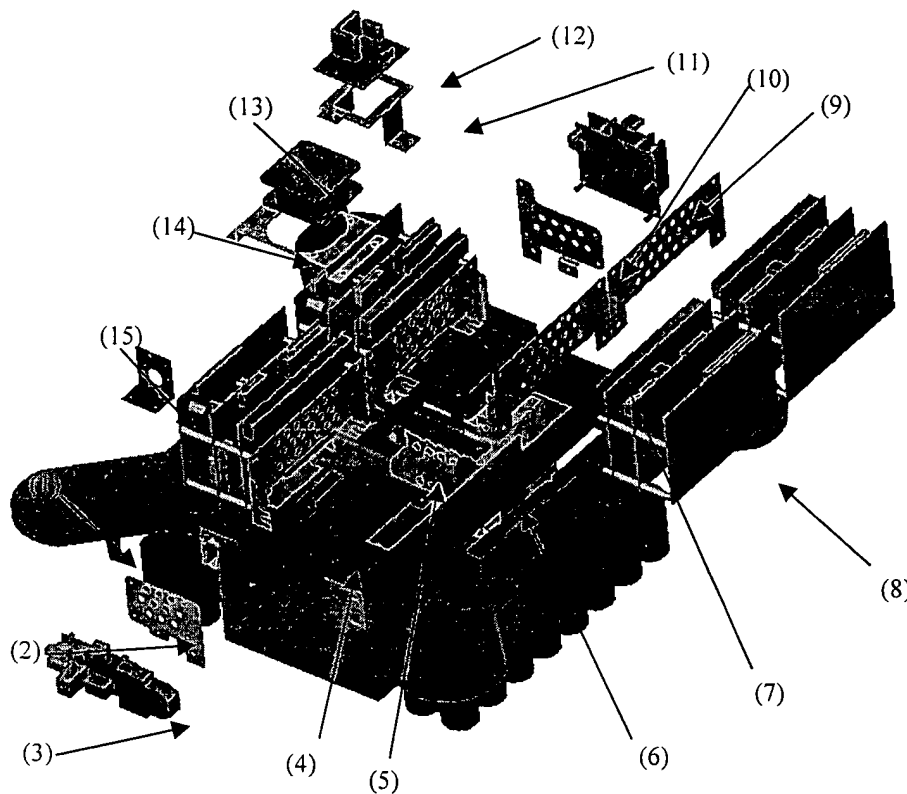


Figure 9 – Assemblage des supports et éléments internes au-dessus de la structure centrale

5

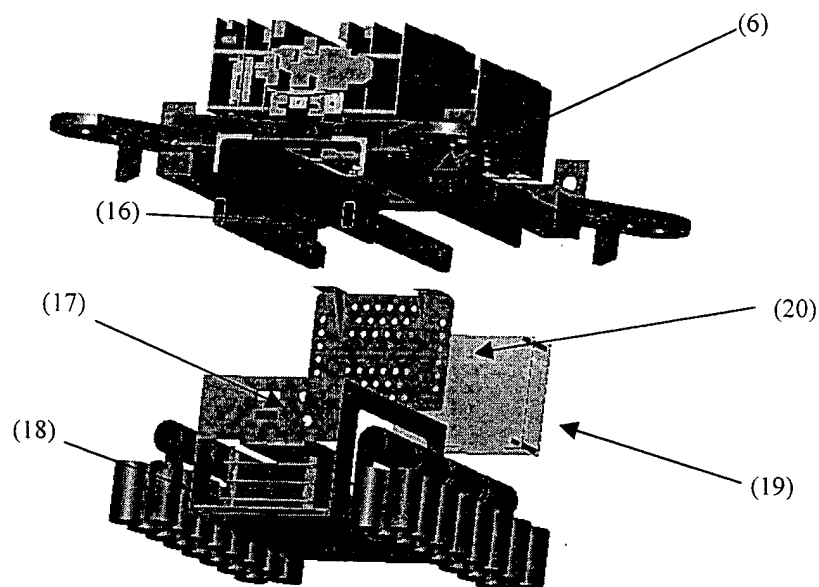
Le cadre en aluminium (1) est l'élément structurel central de la plate-forme sur lequel se fixe les quatre pattes, les composantes électriques et électroniques et les éléments externes de fixation d'accessoires et de transport. Il est donc conçu pour résister à l'ensemble des efforts soumis à la plate-forme. Sur celui-ci sont fixés deux fers-angle en aluminium (6) qui permettent de relier une partie des composantes internes au cadre. Des systèmes de contrôle pour chacune des pattes (8), au nombre de quatre, sont fixés sur des supports en acier plié (7). Ces derniers se déposent sur deux éléments structuraux avant et arrière (4) et un élément structurel central (5). Un inclinomètre (12) est soutenu par un support en acier (11) qui se fixent sur l'élément structurel central (5). Un système d'interfaçage avec le PDA (3) est

10

15

fixé sur un support en acier (2) à son tour fixé sur l'élément structurel avant (4). Un système permettant de télécommander la plate-forme (9) est fixé sur un support en acier (10) retenu par l'élément structurel arrière. Deux ventilateurs (13) assurent une circulation d'air à l'intérieur du châssis. Ils sont
 5 soutenus par des supports en acier (14) qui sont fixés aux fers-angle (6). Quatre supports en aluminium (15) permettent de soutenir les moteurs du système Direction.

2.1.2 Éléments au-dessous de la structure centrale

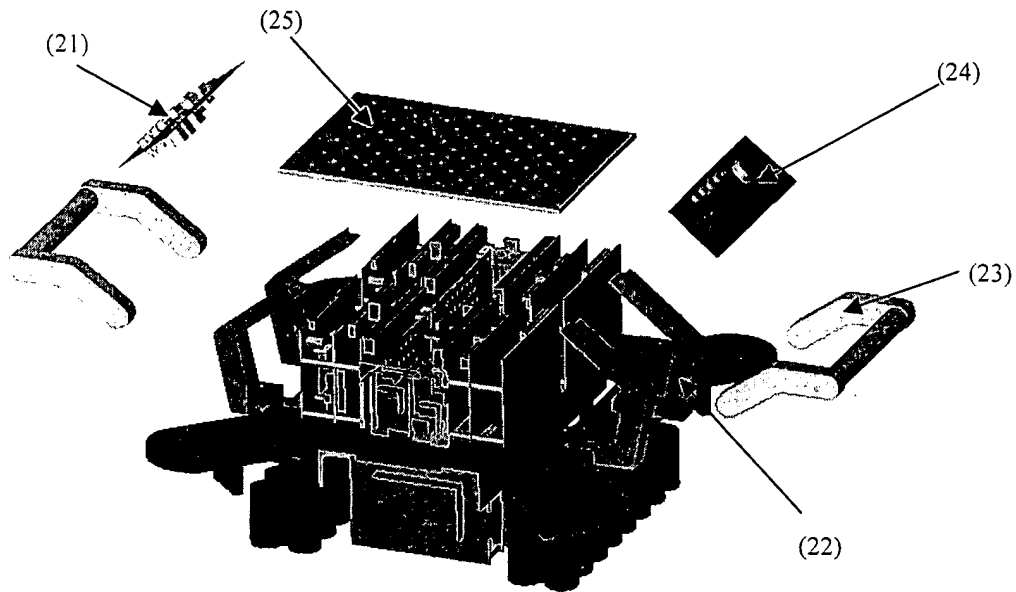


10 *Figure 10 – Assemblage des supports et éléments internes au-dessous de la structure centrale*

Un boîtier contenant le PC/104 et ses modules (17) est fixé sur des glissières de précision (16), qui sont à leur tour fixées aux fers-angles (6). Un
 15 système de contrôle principal du protocole de communication (19) est fixé sur un support en acier (20), soutenu également par les fers-angle (6). Enfin, les batteries (18) sont divisées en deux ensembles de 20 unités et soutenues par les fers-angle (6) par le biais de support en aluminium. Elles sont placées le

plus bas possible pour garder le centre de gravité du robot à proximité du sol pour une meilleure stabilité.

2.1.3 Supports et éléments internes



5

Figure 11 – Assemblage des éléments externes

Des colonnes en aluminium (22) servent de structure rigide pour le maintien des éléments externes. Se dépose d'abord sur ces dernières une plaque de fixation d'accessoires (25) conçu pour soutenir, par le biais de support développé selon les besoins, des accessoires dont la charge totale est d'environ 50 lbs. Les poignées (23) se fixent sur les colonnes (22) et permettent de soulever la totalité de la plate-forme. Deux panneaux de connexions sont supportés par les colonnes. Le premier (24) contient les connexions principales d'alimentation et de contrôle de la plate-forme par l'extérieur. Le second (21) contient les connexions nécessaires au contrôle des accessoires éventuellement installés sur la plate-forme.

2.1.4 Avantages du système Châssis

- Accès facile aux composantes internes électriques et électroniques.
- Montage/démontage rapide de la totalité des composantes internes électriques et électroniques.
- 5 • Utilisation d'une seule structure centrale en forme de cadre qui supporte l'ensemble des composantes de la plate-forme et supporte donc tous les efforts soumis par la plate-forme.
- Transport sans difficulté du châssis et de ses composantes électriques et électroniques sans les pattes et sans revêtement par le biais des
- 10 poignées fixées au cadre (comme une boîte).
- Soutien d'accessoires de n'importe quel type et dont la masse totale peut atteindre 50 lbs (polyvalence dans l'expérimentation).
- Accès facile aux batteries par l'utilisation de rails.

15 2.2 Système Direction

Le système Direction sert à générer et à retenir le mouvement de pivot des bras de propulsion de la plate-forme. Ce système permet un positionnement angulaire indépendant pour chacune des pattes de la plate-

20 forme.

2.2.1 Fonctionnement du système Direction

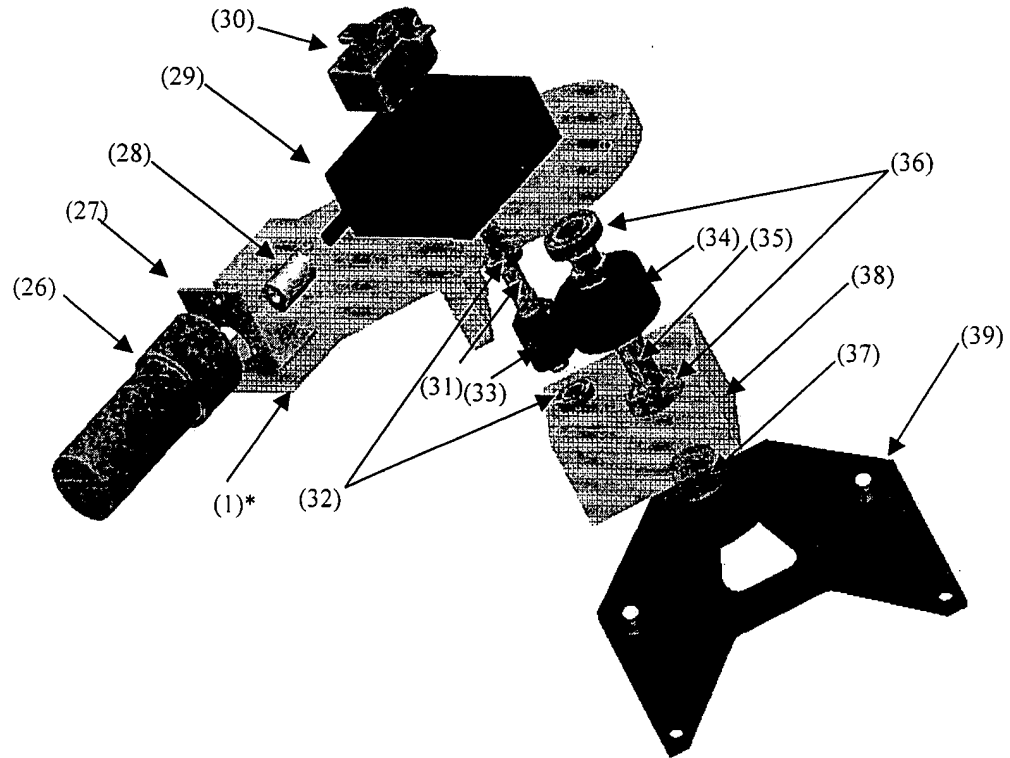


Figure 12 – Assemblage du système Direction

Le mouvement de pivot est généré par un moteur électrique à courant
 5 continu (26). Ce moteur est muni d'un réducteur planétaire 10:1. Il est fixé au
 châssis par un support en aluminium (27). Il transmet sa rotation à un
 réducteur à engrenage et vis sans fin (29) par le biais d'un accouplement en
 acier (28). Le réducteur (29) a un ratio de 15:1 et transmet son mouvement à
 un arbre de transmission en acier (31). Ce dernier permet d'actionner
 10 l'encodeur incrémental optique (30) et d'entraîner un engrenage à 12 dents
 (33). L'arbre de transmission (31) est soutenu par deux roulements à billes à
 gorge profonde (32). L'encodeur (30) permet le contrôle de la position
 angulaire du pivot. La combinaison de l'engrenage à 12 dents (33) et de

l'engrenage à 24 dents (34) forme la dernière étape de réduction du système qui a un ratio de 2:1. Ceci donne donc un ratio global de 300:1 entre le moteur et le pivot. L'engrenage de 24 dents (34) entraîne directement l'arbre de pivot (35). Ce dernier est soutenu par deux roulements à billes à gorge
5 profonde (36). Ces roulements sont de plus grande dimension que ceux mentionnés en (32), car ils doivent aussi prendre toute la charge du moment généré par le bras de levier des pattes. L'arbre de pivot (35) fait pivoter l'appui de roulement (37) ainsi que le support de propulsion (39). L'appui de roulement (37) permet de transmettre le poids de la plate-forme directement
10 au support de propulsion (39). Ce dernier fait le lien structural entre les systèmes Propulsion et Direction. L'élément structurel du système Direction est le boîtier d'engrenage (38) qui, en plus de protéger les engrenages, supporte les roulements (32)(36). Ce dernier est directement fixé à l'oreille (1)* qui est une composante du châssis (1).

15

2.2.2 Avantages du système Direction

- Utilisation d'un moteur électrique indépendant pour actionner la direction d'un véhicule.
- 20 • Utilisation d'un système d'asservissement électronique basé sur une lecture d'encodeur pour contrôler la direction d'un véhicule.
- Contrôle indépendant aux quatre roues pour la direction d'un véhicule.
- Pivot des roues avec un certain « bras de levier » autour d'un axe.
- Pivot de 180 degrés pour chacune des roues.

25

2.3 Système Propulsion

Le système Propulsion permet, comme son nom l'indique, de propulser la plate-forme tant sur une surface plane que dans un escalier en actionnant

la chenille. Il permet aussi de contrôler la rotation des tenseurs pour effectuer, par exemple, la séquence de mouvements nécessaires pour aborder un escalier ou franchir un obstacle. De plus, ce système doit se fixer au système Direction. Ainsi, on distingue quatre fonctions principales:

5

- actionner la chenille de sorte à propulser la plate-forme à une vitesse maximale de 1.5 m/s sur le plat et 0.5 m/s dans un escalier;
- positionner et maintenir le tenseur à un angle donné avec une précision jugée suffisante d'environ 1°;

10

- supporter le système Bras-tenseur;
- se fixer au système Direction.

Le système Propulsion comporte donc deux degrés de liberté, la vitesse de propulsion et l'angle du tenseur, que l'on désire asservir et

15

contrôler de manière indépendante.

2.3.1 Regroupement de composantes

Tel qu'illustré à la figure 13, le système Propulsion est subdivisé en

20

quatre regroupements de composantes, soit :

- la structure de base (vert), décrit à la section 5.3.2;
- l'entraînement de la roue menante (rouge), décrit à la section 5.3.3;
- l'entraînement du bras tenseur (bleu), décrit à la section 5.3.4;
- le soutien de la roue menante (magenta), décrit à la section 5.3.5.

25

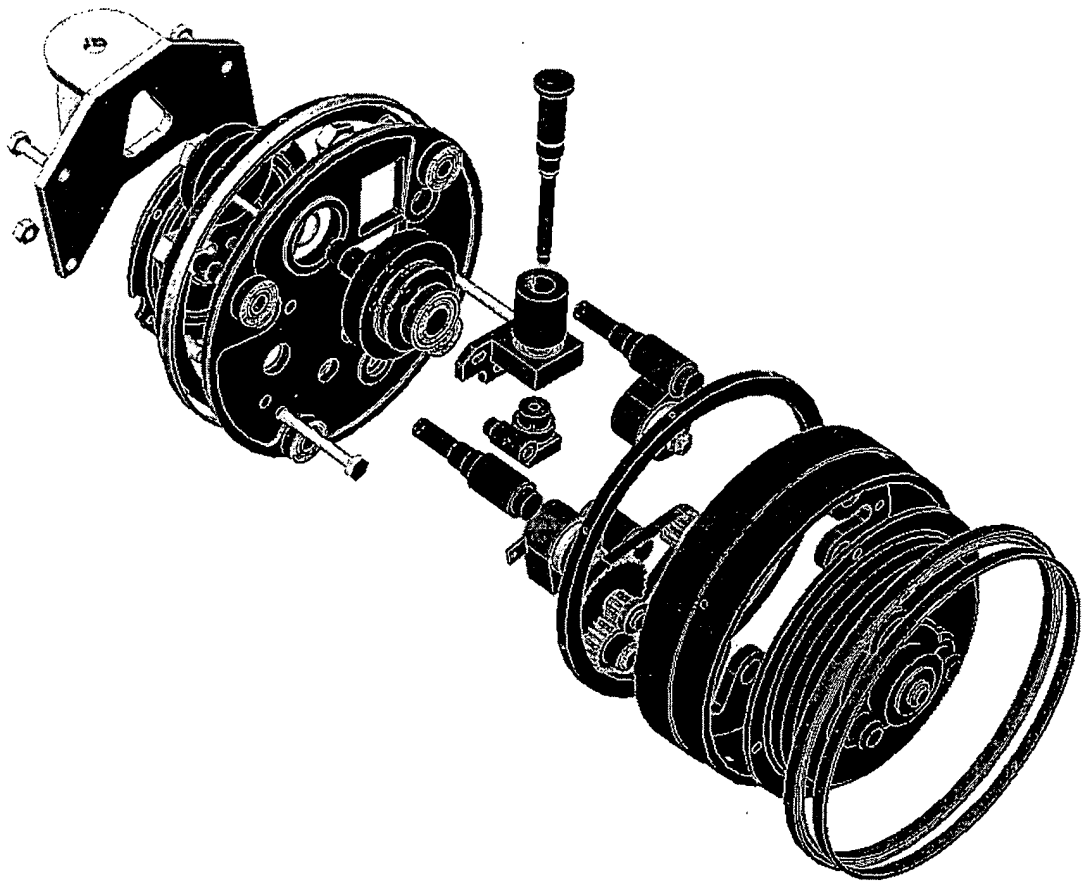


Figure 13 – Regroupement des composantes du système Propulsion

2.3.2 Structure de base

5

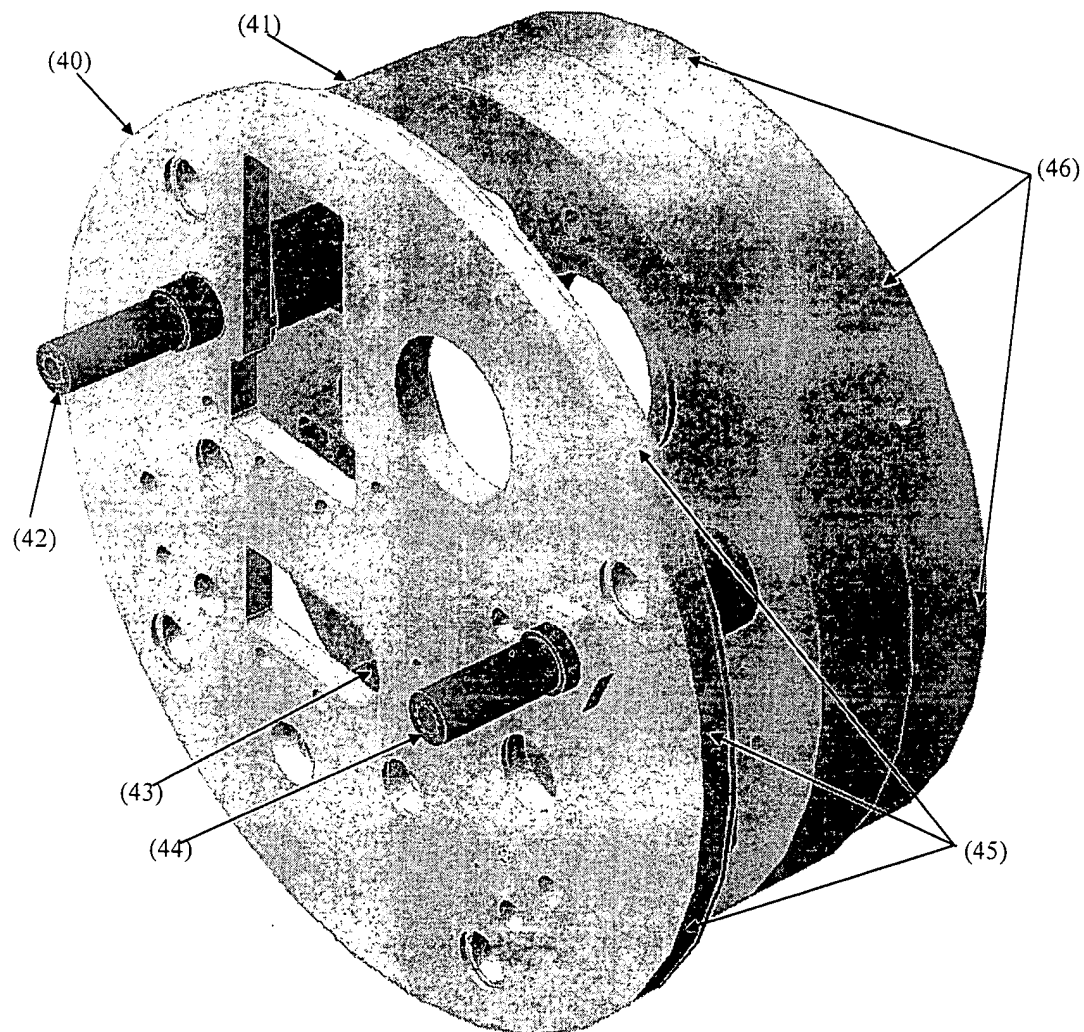
La figure 14 montre la structure de base. Les plaques (40) et (41) sont mécaniquement liées par l'usage de trois poutres (42), (43) et (44). Ces plaques sont trouées de manière à supporter l'ensemble des composantes fixes et rotatives du système Propulsion, incluant les éléments de soutien des arbres, les moteurs, les composantes électriques, etc. Ces plaques sont

10

également conçues de façon à supporter le bras-tenseur. Les surfaces (45) et (46) sont prévues à cette fin.

Figure 14 – Structure de base du système Propulsion

5



2.3.3 Entraînement de la roue menante

La figure 15 montre l'entraînement de la roue menante. L'engrenage à denture interne (47) est monté sur la roue menante (voir section 0, (92)). La puissance mécanique requise pour entraîner cet engrenage est fournie par un moteur (48) de type servo-disque. Celui-ci est fixé sur la plaque (46). La vitesse de rotation de ce moteur est démultipliée au moyen des engrenages intermédiaires (49) et (50) ainsi que l'agencement de poulies-courroie (51), (52) et (53).

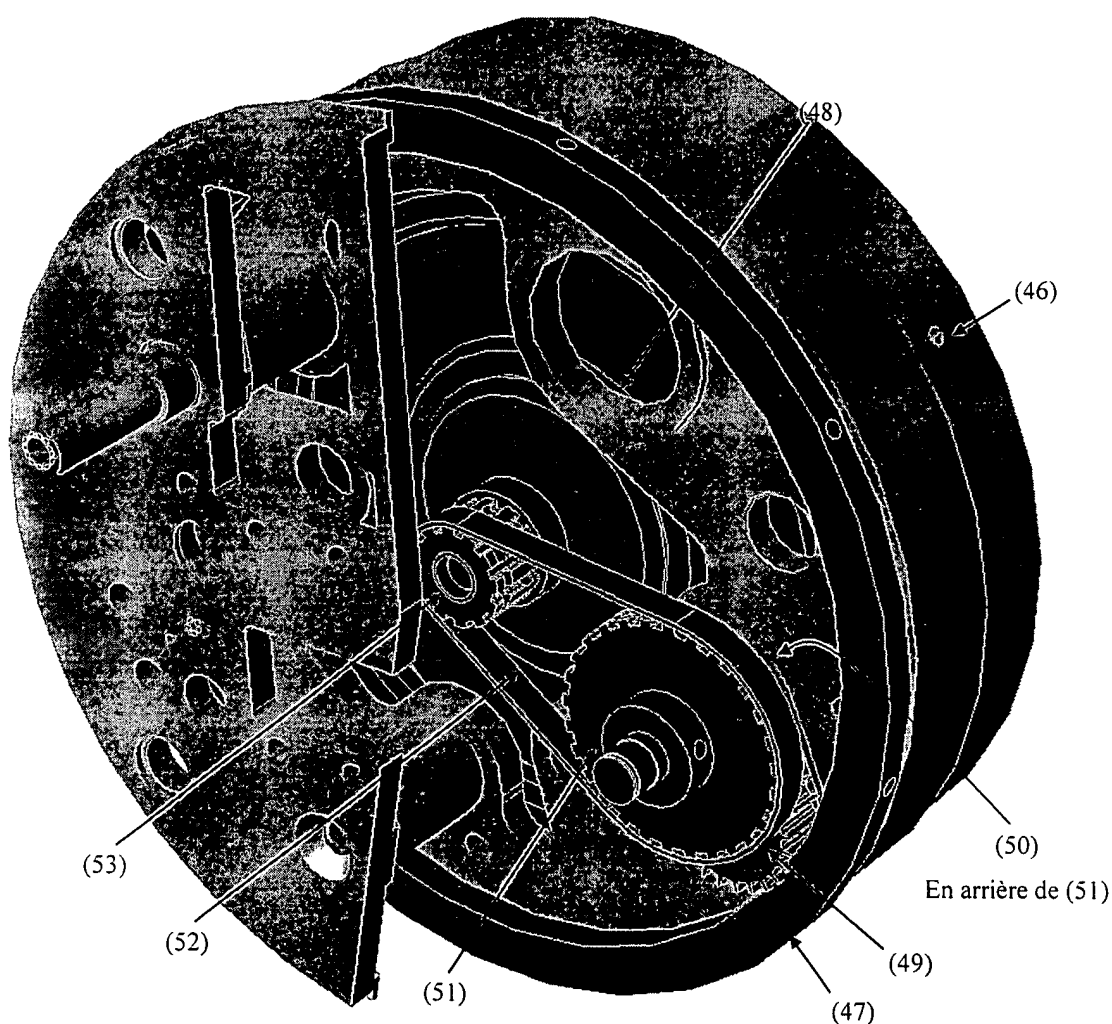


Figure 15 – Entraînement de la roue menante

2.3.4 Entraînement du bras-tenseur

La figure 16 montre le mécanisme d'entraînement du bras-tenseur. L'engrenage à denture interne (54) est monté sur le bras-tenseur. La puissance mécanique requise pour entraîner cet engrenage est fournie par un moteur (55) de type servo-disque. Celui-ci est fixé sur la plaque (40).

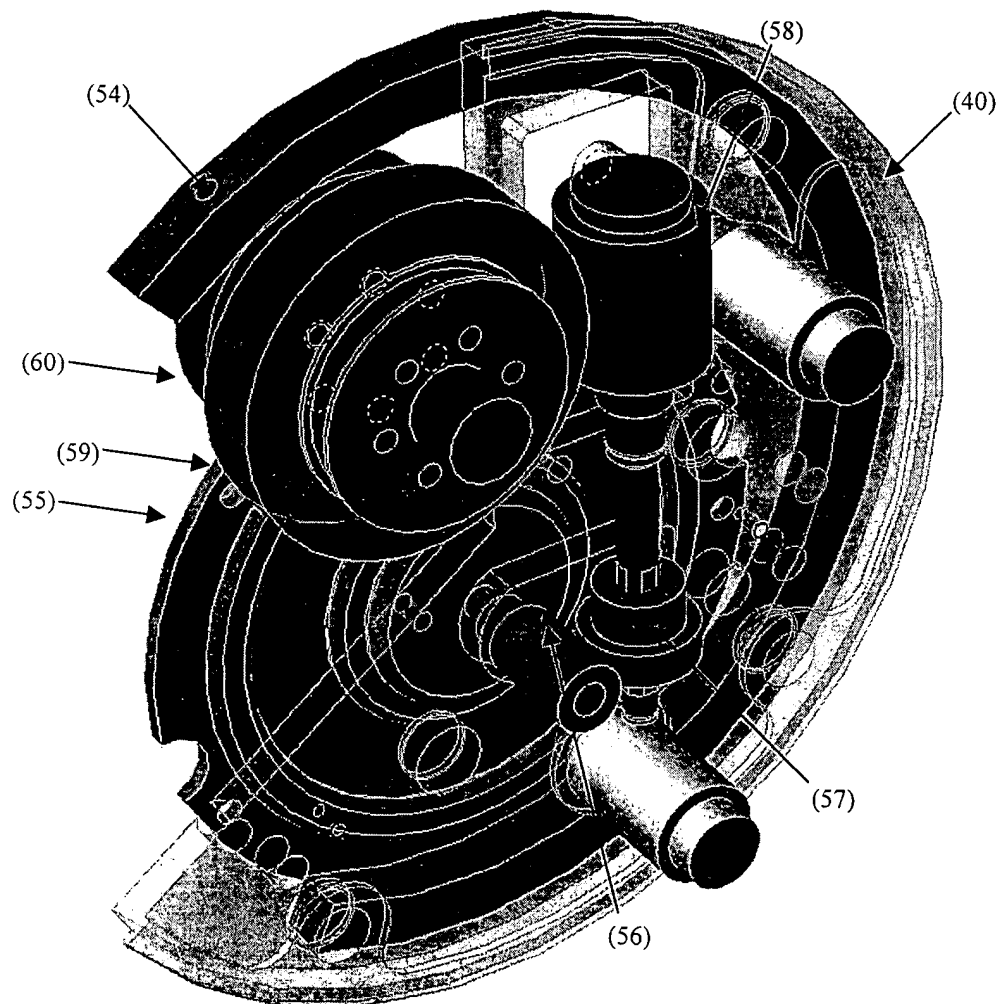


Figure 16 – Entraînement du bras-tenseur

La vitesse de rotation de ce moteur est démultipliée au moyen des engrenages intermédiaires (56) et (58) de type « worm », de même que les engrenages (57) et (59) de type « worm gear » ainsi que de l'engrenage à denture droite (60). Cet agencement d'engrenages permet l'auto-blocage du
5 bras-tenseur une fois le moteur (55) arrêté.

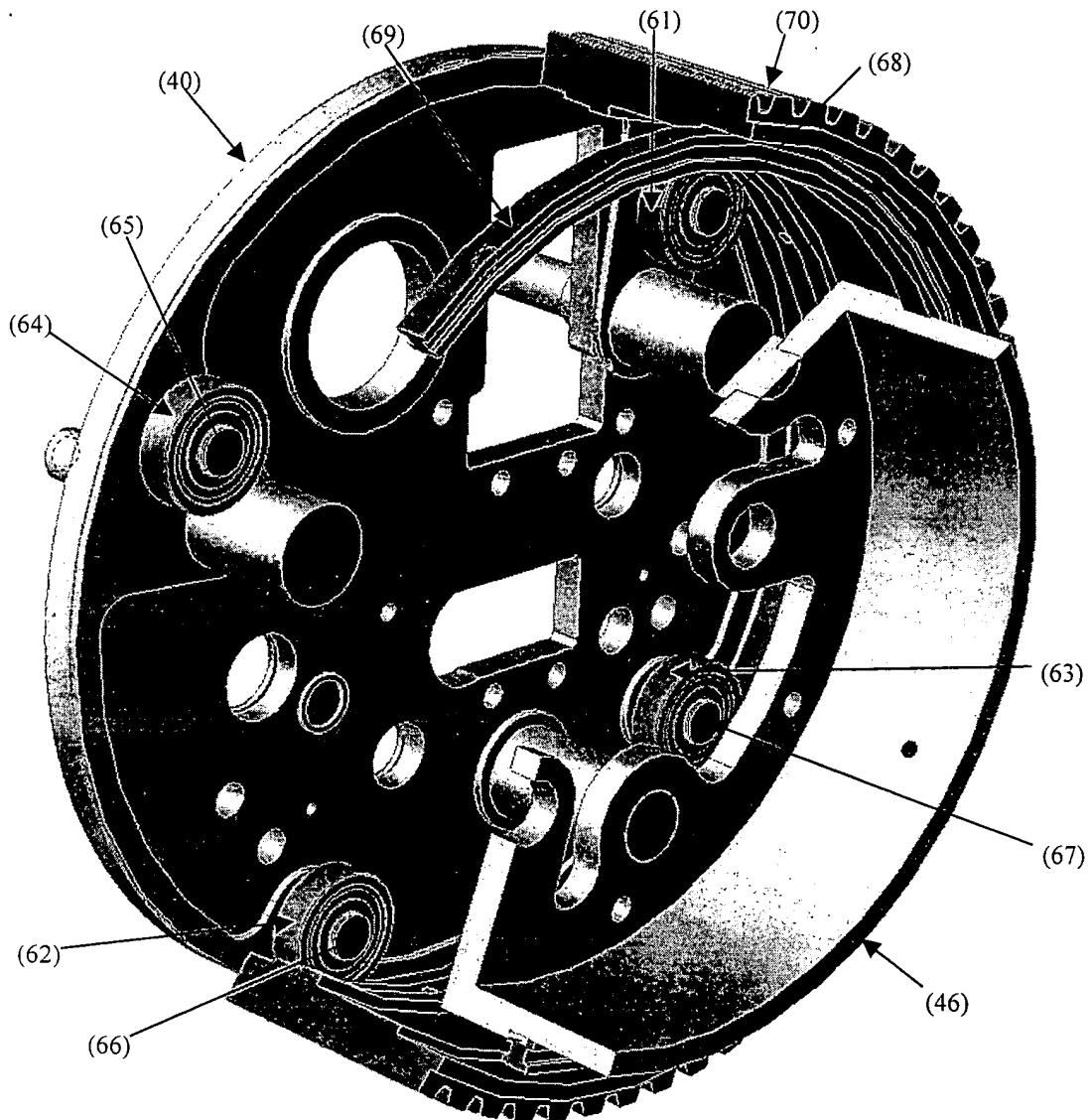
2.3.5 Soutien de la roue menante

La figure 5 montre les composantes permettant le soutien de la roue menante (70). Quatre roulements (61), (62), (63) et (64) sont soutenus au moyen de quatre poutres (65), (66), (67) et (68) fixées sur la plaque (40). On
10 fait également usage d'un roulement à grand diamètre et faible épaisseur (69) monté sur la surface (46) de la plaque.

15

20

25



2.3.6 Avantages du système Propulsion

- Système de faible épaisseur conçu à la manière d'un moteur-roue.
- Positionnement de deux systèmes d'entraînement complets et indépendants du corps, à l'intérieur d'une roue.
- Disposition compacte des composantes d'entraînement (engrenages, arbres, moteur, encodeur, etc.).
- Utilisation de moteurs de type servo-disque silencieux et compacts.
- Utilisation d'une courroie d'entraînement (13) performante et auto-alignée à l'aide des poulies (12) et (14).
- Propriété d'autoblocage de la rotation du bras tenseur sans consommation d'énergie.
- Possibilité d'enlever le système de bras-tenseur pour remplacer la chenille-roue par une roue conventionnelle.
- Utilisation d'un roulement à grand diamètre en faible épaisseur (3) limitant l'espace requis pour supporter la roue menante.
- Utilisation d'un engrenage à denture interne pour transmettre le mouvement de la partie centrale fixe à la partie externe mobile de la roue.
- Possibilité d'enlever la roue (30) menante sans démonter tout le système.

2.4 Système Traction

- 25 Le système Traction est composé de la chenille-roue et du bras-tenseur. Le système permet à la plate-forme de se surélever et de se déplacer dans des environnements complexes comme les escaliers et en terrain accidenté.

2.4.1 Sous-système Chenille-roue

Trois assemblages principaux composent le sous-système Chenille-roue : la chenille (a), la roue menante (b) et la roue menée (c). L'assemblage de la roue menante est entraîné par le système Propulsion. Par sa rotation et au moyen de la chenille, elle permet la rotation de l'assemblage de la roue menée.

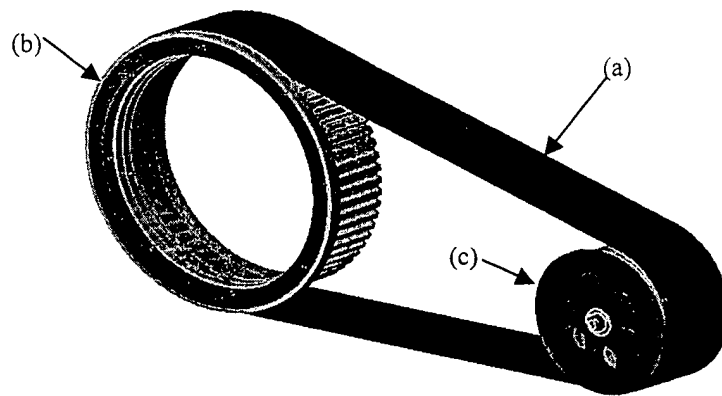


Figure 18 – Représentation du sous-système Chenille-roue

2.4.1.1 Chenille

La chenille est composée d'une courroie de synchronisation (71) et d'un revêtement (72) adhérent collés l'un sur l'autre. La chenille permet l'adhérence aux différentes surfaces sur lesquelles elle s'appuie.

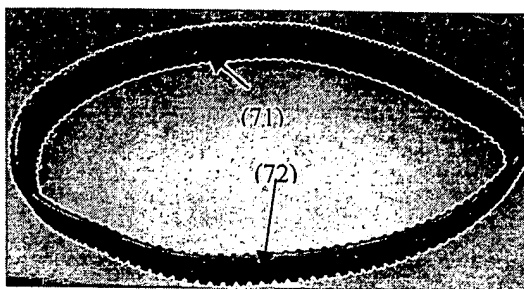


Figure 19 – La chenille

2.4.1.2 Roue menante

- 5 Le crantage de la roue menante permet d'actionner la chenille. La bride de roulement (72) est fixée sur la roue menante (73). Lors des déplacements sur le plat (ayant appui seulement sur la roue menante), le point d'appui est la

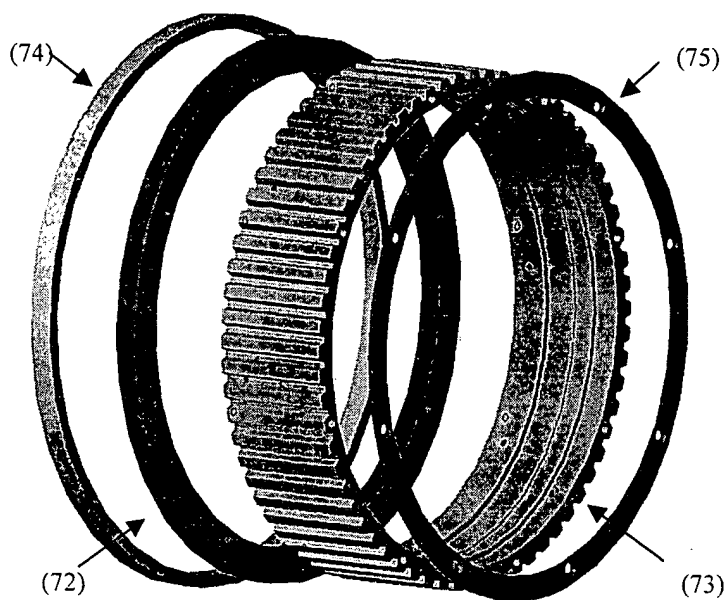


Figure 20 – Vue explosée de la roue menante

bride de roulement (72). Ceci permet de limiter le frottement de la chenille sur le sol, diminuant ainsi les pertes par friction et augmentant la durée de vie de la chenille. La bride de roulement est recouverte (74) pour éviter le bris des surfaces en contact. Une bride de guidage (75) plus petite permet de guider la courroie, l'empêchant d'entrer en contact avec le bras-tenseur.

2.4.1.3 Roue menée

La roue menée est située à l'extrémité du bras-tenseur. Deux brides (77) sont fixées de chaque côté de la roue (76) afin de limiter les déplacements latéraux de la chenille. Deux roulements à billes (78) sont insérés dans les brides, favorisant la rotation de la roue sur l'arbre (79). L'arbre (79) est fixé sur le support du bras-tenseur (87). Deux bagues (80) permettent de limiter le déplacement axial des bagues internes des roulements à billes.

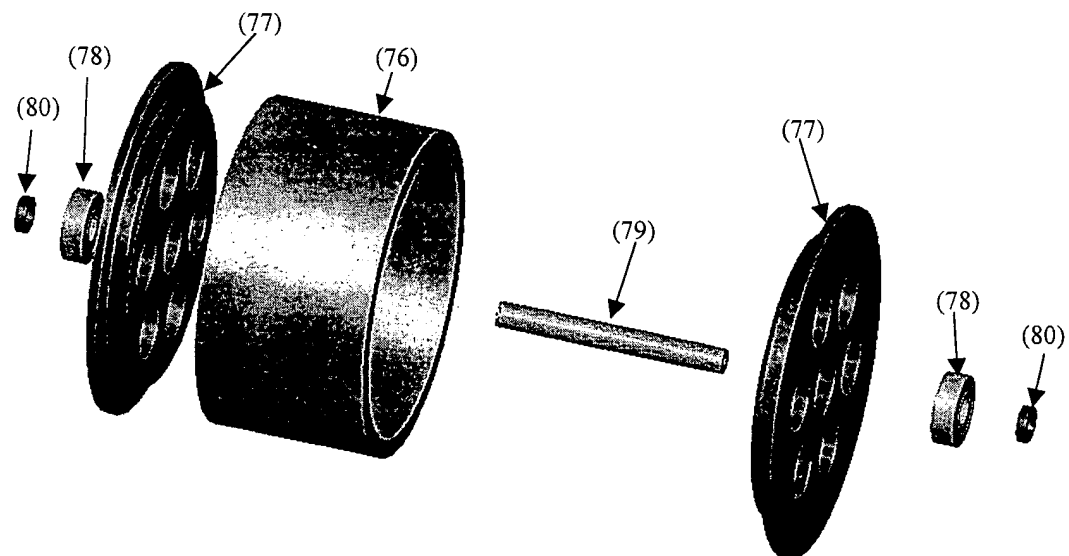


Figure 21 – Vue explosée de la roue menée

2.4.1.4 Avantages du sous-système Chenille-roue

- Utilisation d'une courroie de synchronisation, qui empêche le glissement sur la roue.
- 5 • Utilisation sur un robot mobile d'une courroie de convoyeur comme chenille, ce qui permet l'adhérence aux surfaces d'appui même si elles sont inclinées.
- Collage du revêtement de convoyeur de type pointe diamant sur la courroie crantée.
- 10 • Utilisation d'une bride de roulement pour les déplacements sur le plat : augmentation de la durée de vie de chenille, diminution du frottement au sol.
- Ajout d'un revêtement à la bride de roulement : protection du sol, non-marquage du plancher, amortissement minimal.
- 15 • Utilisation d'une roue menée plus petite que la roue menante pour améliorer l'angle d'attaque de la chenille pour franchir des obstacles.
- Utilisation d'une roue menée non crantée pour faciliter l'usinage.

2.4.2 Sous-système Bras-tenseur

20

Le bras-tenseur permet de supporter et de positionner la roue menée. Il assure un lien rigide entre la roue motrice et la roue menée pour donner la tension nécessaire au maintien de la chenille.

25

2.4.2.1 Fonctionnement du sous-système Bras-tenseur

Les deux supports de tenseur (81) et (82) servent de pièces maîtresses pour le soutien du système. Ces deux plaques sont liées par

l'entremise de quatre blocs raidisseurs (83) et (84). Ces blocs sont fixés de chaque côté au moyen de douze vis (A). Les blocs raidisseurs (83) sont aussi utilisés pour soutenir le tenseur formé par les tiges filetées (85) et (86) ainsi que de la boulonnerie (D), (E) et (F). La tige d'ajustement (86) entre par le

5 dessous (H) de la base du support de la roue menée (87). La tige est maintenue en place dans la pièce (87) à l'aide des boulons (D) et (K). Lorsque la tension est ajustée avec le boulon central (E), un chemin de clé (H) permet à la tige centrale de soulever tout le support de la roue menée (87). La tension dans la chenille est ainsi maintenue. Les plaques (88) servant

10 à supporter l'arbre de la roue menée sont fixées par l'intermédiaire de quatre vis (C). Les deux vis (B) viennent fixer l'arbre de la roue menée sur les plaques.

Les contacts avec le système Propulsion se font par l'entremise de

15 l'engrenage à denture interne (92) vissé radialement par des vis (J) sur le palier lisse (92)*. Deux paliers lisses (93)* et (94)* sont usinés dans les deux supports de tenseur (81) et (82). Ces paliers soutiennent des bandes de glissement (93) et (94) sur la figure 22. Ces bandes sont utilisées pour réduire le frottement avec le système Propulsion. En effet, la partie intérieure des

20 bandes est faite de PTFE (téflon). Ces bandes sont fixées par serrage. Les pièces (89), (90) et (91) forment deux skis permettant de soutenir les efforts dans la chenille. Ces pièces sont fixées sur le tenseur au niveau des blocs raidisseurs (83) supérieurs et (84). De plus, douze vis (G) sont nécessaires pour fixer les plaques de glissement (91) avec les supports (89) et (90) de

25 chaque côté.

2.4.2.2 Représentation du sous-système

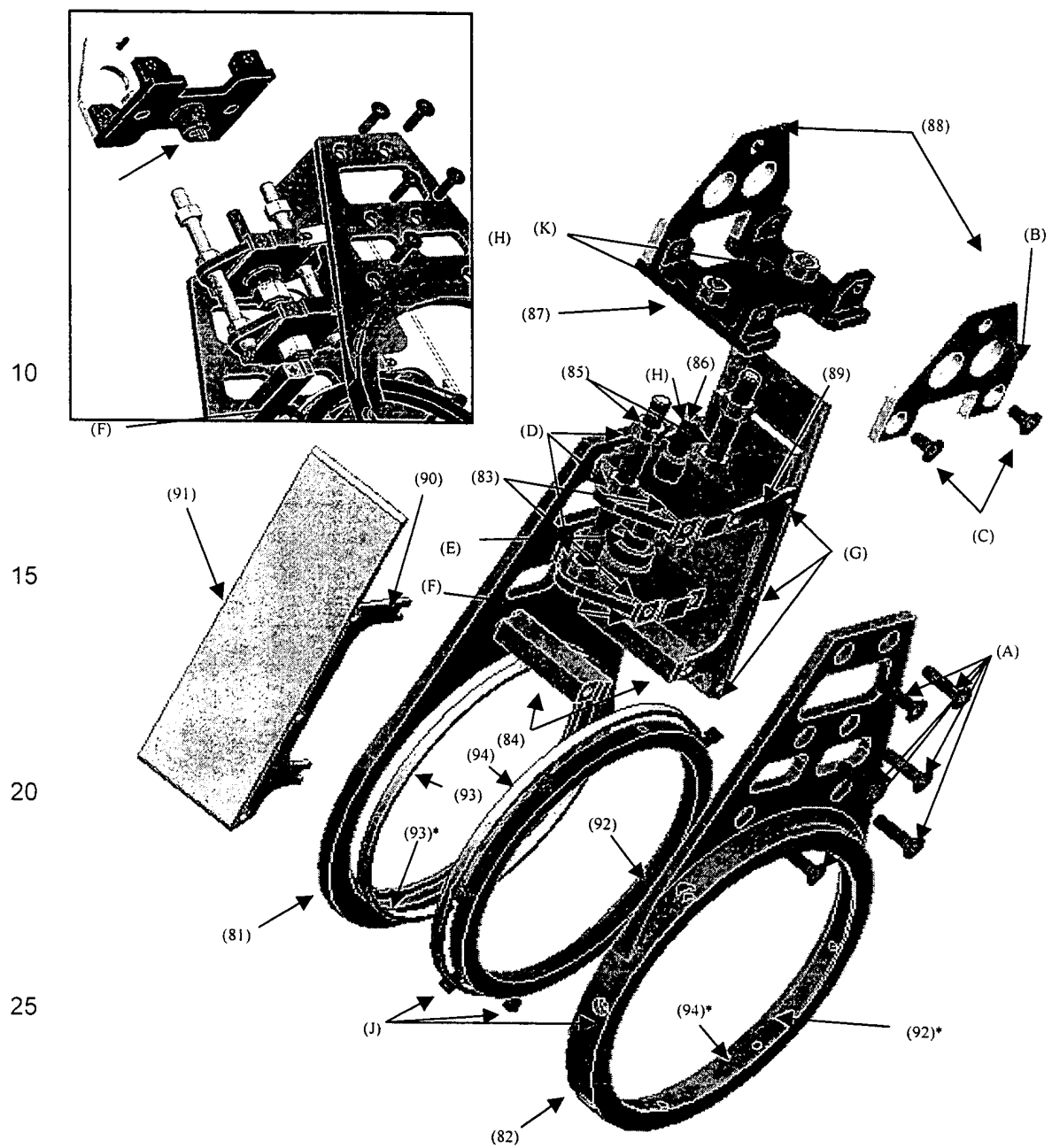


Figure 22 – Vue éclatée du bras-tenseur

2.4.2.3 Avantages du sous-système Bras-tenseur

- Utilisation d'un bras en aluminium pour supporter la roue menée d'un système à chenille.
- 5 • Système symétrique de chenille, car la roue menée permet d'ajuster la tension sans utiliser une poulie supplémentaire.
- Système permettant à la roue menée d'une chenille d'exécuter une révolution autour de la roue menante pour augmenter les possibilités de déplacements d'une plate-forme robotisée.
- 10 • Utilisation d'un engrenage à denture interne pour actionner le mouvement du bras-tenseur.
- Utilisation de plans de glissement en UHMW (skis) pour le support d'une chenille.
- Système de boulons et tiges filetés pour l'ajustement de la tension de la chenille (accessible de l'extérieur, simple à utiliser).
- 15

2.5 Système Coque

Le système Coque vient protéger les composantes internes contre l'environnement externe à la plate-forme, et vise à être esthétique. Il donne aussi accès aux composantes internes en un minimum d'étapes.

2.5.1 Représentation du système Coque

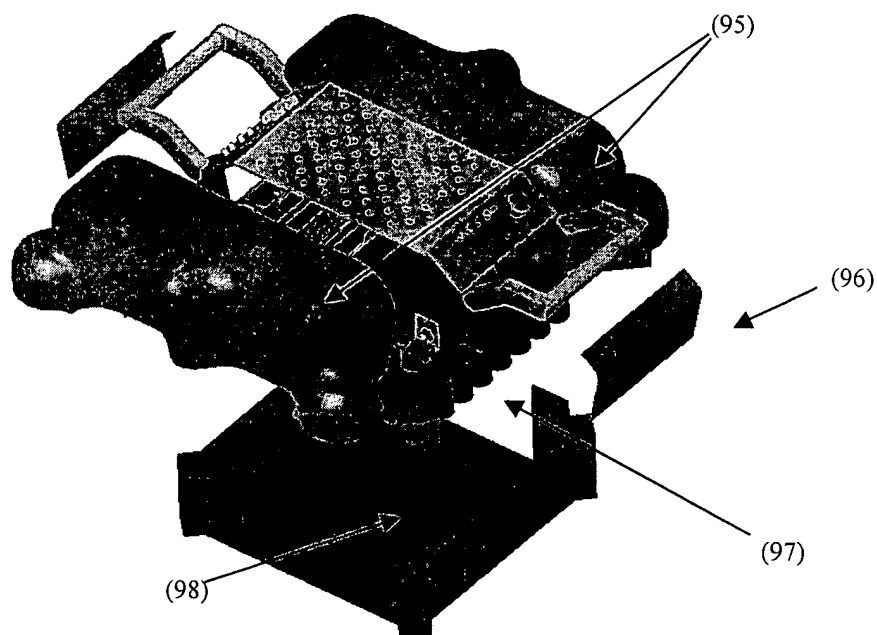


Figure 23 – Assemblage de la coque et du revêtement inférieur

10

La coque en fibre de verre se divise en quatre morceaux qui viennent se déposer sur le châssis (97). Deux parties avant arrière (95) et deux parties sur les côtés constituent la coque (96). Le revêtement inférieur (98) vient fermer le dessous de la plate-forme et se fixe également sur le châssis (97).

15

2.5.2 Avantages

- Montage/démontage de la coque en un minimum d'étapes.
 - Élimination de toute fixation de composantes sur la coque et le revêtement (qui ne vient qu'"habiller" le robot). Il pourrait donc y avoir plusieurs revêtements différents et interchangeables.
- 5
- Accent mis en particulier sur l'aspect extérieur de la plate-forme.
 - Protection des composantes.
 - Protection des utilisateurs.

10 3. DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES SYSTÈMES ÉLECTRIQUES ET INFORMATIQUES

L'objectif de cette section est de décrire les systèmes électriques et informatiques de la plate-forme robotique, un système électrique et informatique étant un système matériel (électronique) sur lequel fonctionne un
15 programme informatique spécialisé. Ces systèmes servent à la gestion et au contrôle des différents capteurs et actionneurs de la plate-forme.

3.1 Description globale des systèmes électriques et informatiques

20 Contrairement aux robots traditionnels qui utilisent une seule unité centrale de traitement où tous les capteurs et actionneurs sont branchés, la plate-forme comprend plusieurs systèmes qui communiquent tous sur un bus commun. En fait, il s'agit d'une approche distribuée plutôt qu'une approche centralisée, puisque chaque système électrique et informatique comprend son
25 propre processeur et sa propre « intelligence » embarquée (*embedded*) et adaptée à la tâche de chaque système. La mise en œuvre actuelle utilise le protocole CAN 2.0B (*Control Area Network* version 2.0B) pour les échanges sur le bus, à une vitesse de 1 Mbits par seconde et permettent aux différents

- systèmes (ou modules) de communiquer de l'information entre eux. Le protocole CAN est utilisé dans le domaine de l'automobile. Il permet la gestion des transmissions des messages sur le bus et gère automatiquement les erreurs et la priorité des messages. Également, n'importe quel système
- 5 utilisant le protocole CAN peut être ajouté au robot sans devoir refaire le filage électrique, ce qui constitue un avantage important. Notez que d'autres types de bus pourraient être utilisés sur la plate-forme robotique sans que ceci affecte sa fonctionnalité.
- 10 Les systèmes électriques et informatiques de la plate-forme et leurs liens de communication sur bus sont montrés à la figure 24. Deux bus sont utilisés : un bus pour la synchronisation des mouvements entre les pattes, et un bus pour l'échange de requêtes et de données afin d'assurer la
- 15 coordination des différents systèmes électriques et informatiques. Ces systèmes sont brièvement présentés par ordre d'importance, partant des systèmes essentiels jusqu'aux systèmes donnant des fonctionnalités accrues à la plate-forme selon les applications et usages possibles de celle-ci. Les prochaines sections décrivent plus en détail les éléments des différents systèmes électriques et informatiques.

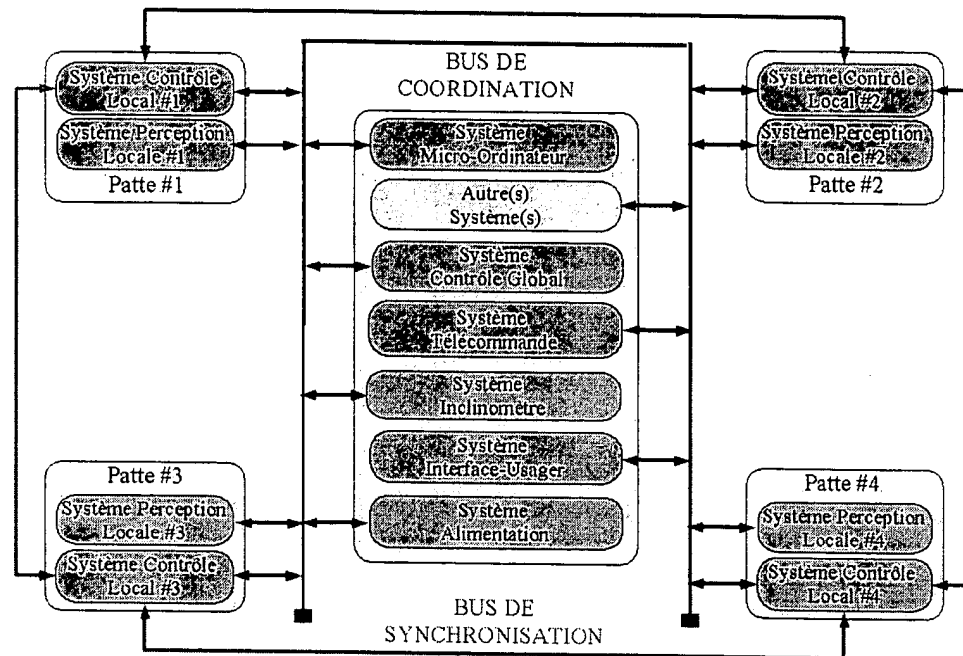


Figure 24 – Architecture générale des systèmes électriques et informatiques

À la base, les systèmes électriques et informatiques de la plate-forme
 5 nécessitent de l'énergie pour fonctionner. La plate-forme comporte un seul
 système d'alimentation électrique. Celui-ci s'occupe de la gestion de l'énergie
 du robot soit à partir des batteries incorporées dans la plate-forme, ou bien
 d'une source d'alimentation (embarquée ou non sur la plate-forme) et qui est
 reliée à une prise électrique externe de 120 Vac. Le système Alimentation
 10 gère l'énergie de la plate-forme en vérifiant l'état des batteries, l'énergie
 restante et en commutant entre la source externe d'énergie et les batteries.
 Toute l'alimentation (de niveaux 5V, 12V et 24V) de la plate-forme passe par
 ce système. Le système assure aussi une forme de sécurité pour la plate-
 forme en permettant de couper en tout temps l'alimentation des moteurs.

La plate-forme comporte quatre systèmes Contrôle Local qui contrôlent chacun une patte, avec trois moteurs (et donc trois degrés de liberté) pour chaque patte (le moteur de propulsion (48), le moteur de direction (26) et le moteur du tenseur (55)). Un système Contrôle Local est formé d'une carte munie d'un microcontrôleur et liées à deux autres cartes électroniques qui gèrent l'alimentation électrique des moteurs, lisent les encodeurs de position, les capteurs optiques et les capteurs de fins de course de chaque patte. Chaque système Contrôle Local vient asservir les moteurs en vitesse, accélération et position pour une patte. Pour assurer que les pattes soient synchronisées entre elles, les systèmes Contrôle Local de chaque patte s'échange des informations sur le bus de synchronisation. Ceci permet par exemple d'assurer que la plate-forme puisse se déplacer en ligne droite.

Chaque patte est aussi équipée d'un système Perception Locale. Ce système gère les capteurs de proximité installés sur une patte, ces capteurs servant à détecter des objets à proximité de la plate-forme. Dans sa forme actuelle, chaque patte de la plate-forme robotique est équipée de trois capteurs ultrasoniques, six capteurs infrarouges et quatre interrupteurs de contact. D'autres configurations de capteurs pourraient toutefois être utilisées.

Le système Contrôle Global reçoit les informations des différents systèmes électriques et informatiques, et assure la coordination des comportements du robot. Par exemple, il peut recevoir une requête pour que le robot se déplace selon un certain mode (voir section 4.4.1.) et émet les commandes appropriées pour que la plate-forme se déplace selon la configurations souhaitée. Ce système peut aussi contrôler les actions du robot en fonction de l'énergie de la plate-forme et de la perception obtenues par les différents capteurs sur la plate-forme. Cette coordination constitue un niveau d'intelligence supérieur à l'intelligence qui se trouve dans les autres systèmes électriques et informatiques de la plate-forme.

Le système Télécommande est composé de deux sous-systèmes (émetteur et récepteur). La télécommande comprend un transmetteur RF à 900 MHz qui est géré par un microcontrôleur. L'émetteur transmet en tout temps l'état de la télécommande (bouton(s) enfoncé(s)) vers le récepteur. Le
5 récepteur, installé à l'intérieur de la plate-forme, transmet sur le bus de coordination l'état transmis via la télécommande. Il est également possible de relier le transmetteur et le récepteur par un lien RS-232 traditionnel, ce qui est utile lorsque la communication sans fil n'est pas possible. Les messages transmis sur le bus peuvent être utilisés par les autres systèmes électriques
10 et informatiques de la plate-forme, qui peuvent prendre des décisions en fonction des boutons enfoncés (tourner, actionner certains capteurs et actionneurs, etc.).

Le système Interface-Usager consiste en un appareil de type PDA
15 (*Personal Data Assistant*) qui est branché sur une carte électronique lui permettant d'être relié au bus de coordination. Les programmes incorporés au PDA permettent de visualiser l'état des différents systèmes électriques et informatiques du robot, et de changer les modes de fonctionnement du robot. Le système Interface-Usager sert aussi au « déverminage » du système lors
20 de son développement, en donnant la possibilité aux programmeurs de visualiser tous les messages qui sont transférés sur le bus de coordination.

Le système Inclinomètre détermine l'orientation dans l'espace en trois dimensions de la plate-forme. Celui-ci peut donner en tout temps l'inclinaison
25 par rapport au sol (tangage et roulis) et agir comme une boussole.

Enfin, le système Micro-ordinateur permet d'ajouter au robot des capacités informatiques importantes, comme une plus grande capacité de traitement (avec un CPU plus puissant que ceux utilisés par les
30 microcontrôleurs des autres systèmes électriques et informatiques), de mémorisation (en mémoire vive ou encore par l'emploi de disques durs), une

interface Ethernet sans fil 802.11b, une carte d'acquisition d'image, une carte audio, etc. Les programmes et algorithmes qui fonctionnent sur ce système sont complexes et comportent un haut niveau d'intelligence. Ils permettent le traitement des images, des sons, les algorithmes sophistiqués d'intelligence artificielle, etc. Étant donné que le système Micro-ordinateur est relié au bus de coordination, il peut communiquer avec tous les systèmes du robot.

3.2 Description des bus de communication

Deux bus de communication sont utilisés sur la plate-forme : un bus de synchronisation et un bus de coordination. Ces bus sont mis en œuvre sur la plate-forme en suivant le protocole CAN, standardisé par l'ISO dans les normes 11898 pour les applications à hauts débits et ISO 11519 pour les applications à bas débits. Le protocole CAN est un protocole de communication série qui supporte efficacement le contrôle en temps réel de systèmes distribués tels qu'on peut en trouver dans les automobiles, et ceci avec un très haut niveau d'intégrité au niveau des données. En utilisant le protocole CAN 2.0B, les systèmes électriques et informatiques de la plate-forme communiquent entre eux sur deux câbles à une vitesse pouvant aller jusqu'à 1 Mbits/s.

Chaque système électrique et informatique de la plate-forme lié sur un bus utilise une paire de fil pour la communication. Les systèmes peuvent être branchés un à la suite des autres (*daisy chain*) ou en « étoile », permettant de déconnecter n'importe quel système sans affecter les autres.

Une trame de données CAN est composée de sept parties ¹: un bit de démarrage (SOF), un champ d'arbitration de trente bits, un champ de contrôle

¹ Référence : <http://www.can-cia.de/can/protocol/>

de six bits, un champ de données allant de zéro à huit octets, un champ CRC de seize bits, un champ ACK de deux bits, et une trame de fin de sept bits.

Les parties qui sont configurées de façon particulière pour la plate-
 5 forme sont le champ d'arbitration et le champ de données. Plus précisément, la figure 25 montre l'organisation du champ d'arbitration dans une trame pour la communication sur le bus de coordination et de synchronisation. Ce modèle permet de prioriser certains messages en séparant le champ en quatre parties importantes :

10

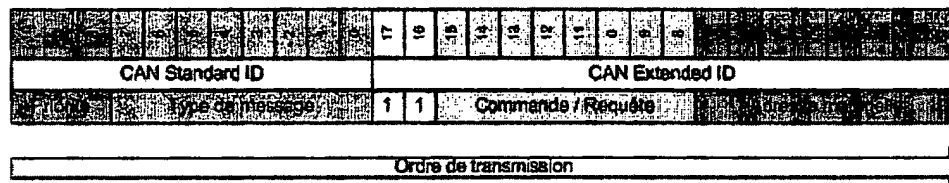


Figure 25 – Séparation du champ "arbitration field" pour une trame CAN utilisée pour les systèmes électriques et informatiques.

1. **Priorité.** Chaque trame contient une priorité qui varie de 0 à 7 (sur trois bits). Étant donné que « 0 » est un bit dominant (qui peut « gagner » le droit d'écrire sur le bus par l'arbitrage du protocole), la priorité 0 (000) est la plus haute priorité et la priorité 7 (111) est la plus basse priorité.
2. **Type de message.** Chaque trame est divisée en huit types de messages. Ces types sont organisés selon leur importance et permettent à chaque système électrique de catégoriser ses messages selon la priorité qu'ils doivent avoir sur le bus. Le tableau 1 résume les différents types utilisés pour la plate-forme. La partie « Type de message » est organisée pour être facilement masquable et pour faciliter les filtrage des trames.
3. **Commande / Requête.** Chaque système peut recevoir une commande ou une requête d'information. En utilisant huit bits pour cette partie, un système peut recevoir 256 commandes / requêtes différentes. Ces

commandes / requêtes sont déterminées pour chaque système selon son niveau d'intelligence et ses capacités de traitement.

4. **Adresse matérielle.** Chaque système possède sa propre adresse matérielle qui est utilisée pour communiquer d'un système vers un autre directement. En utilisant huit bits pour cette partie, il peut y avoir 255 systèmes / noeuds sur le bus CAN qui possèdent chacun une adresse matérielle différente. Ainsi, chaque système peut savoir si une trame lui est destinée ou non. L'adresse matérielle 255 est réservée pour les messages qui sont destinés à tous (*broadcast*).

10 **Tableau 1 – Description des types de message**

Type (en binaire)	Description
0000 0001 (0x01)	Requêtes d'urgence
0000 0010 (0x02)	Actionneur haute priorité
0000 0100 (0x04)	Capteur haute priorité
0000 1000 (0x08)	Actionneur basse priorité
0001 0000 (0x10)	Capteur basse priorité
0010 0000 (0x20)	Non utilisé (libre)
0100 0000 (0x40)	Non utilisé (libre)
1000 0000 (0x80)	Événements

3.3 Organigramme de traitement d'un système électrique et informatique

- 15 La figure 26 montre l'organisation générale d'un programme qui fonctionne sur les microcontrôleurs des systèmes électriques et informatiques et le micro-ordinateur de la plate-forme. Un système est considéré comme activé lorsqu'il est fonctionnel et qu'il communique adéquatement sur le bus.
- 20 Chaque système filtre les trames qui lui sont transmises sur le bus de coordination pour savoir si elle lui sont destinées, traite les commandes et les

requêtes, fait la lecture des capteurs, exécute certains algorithmes de calcul spécialisés, envoie des commandes aux actionneurs, transmet des réponses aux requêtes et l'état du système sur le bus. Même si un système est désactivé, il transmet tout de même son état. La transmission de l'état de

5 chaque système permet au système Contrôle Global de savoir quels systèmes se trouvent sur le bus de coordination. Le système Contrôle Global peut alors activer ou désactiver n'importe quel système selon les besoins de l'utilisateur et les modes de fonctionnement. Par défaut, les systèmes sont dans un état désactivé et le système Contrôle global doit les mettre en fonction. Le

10 système est implicitement sécuritaire, c'est-à-dire qu'à son état désactivé les états du système sont sécuritaires. Ce cycle de traitement est répété continuellement et périodiquement à une fréquence de 100Hz (ou plus).

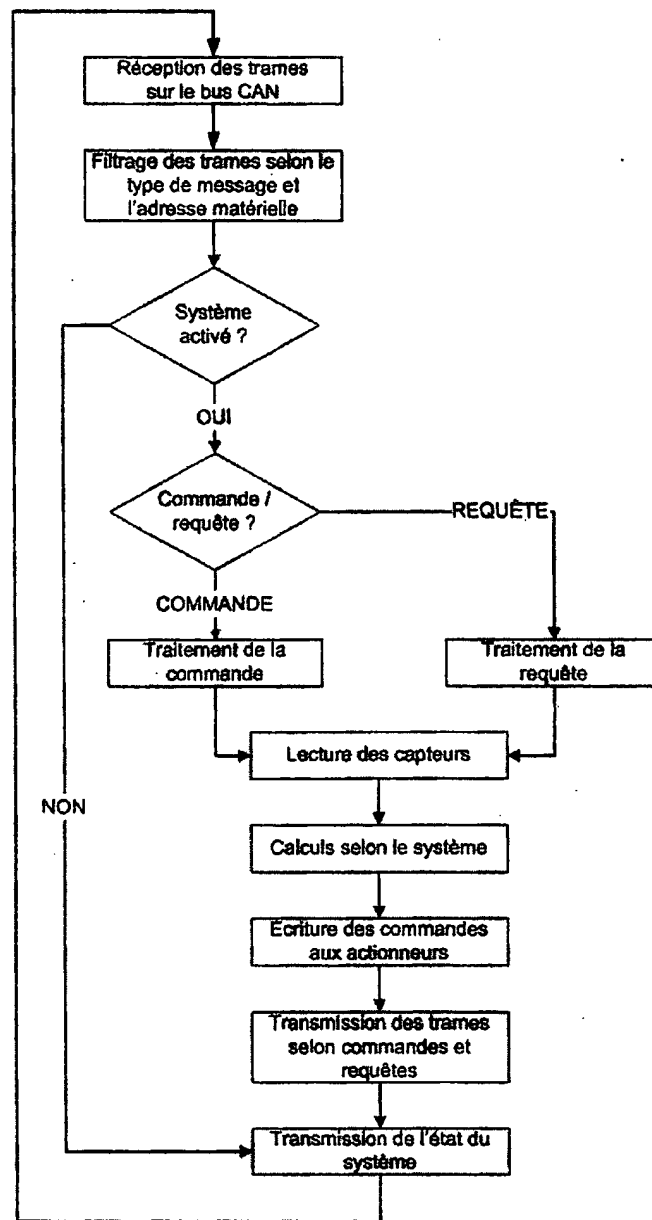


Figure 26 – Organigramme de traitement d'un système électrique et informatique

3.4 Système d'alimentation

La figure 27 montre la structure du système Alimentation. Ce système est primordial au fonctionnement de la plate-forme, puisque toute l'alimentation électrique du robot passe par ce système.

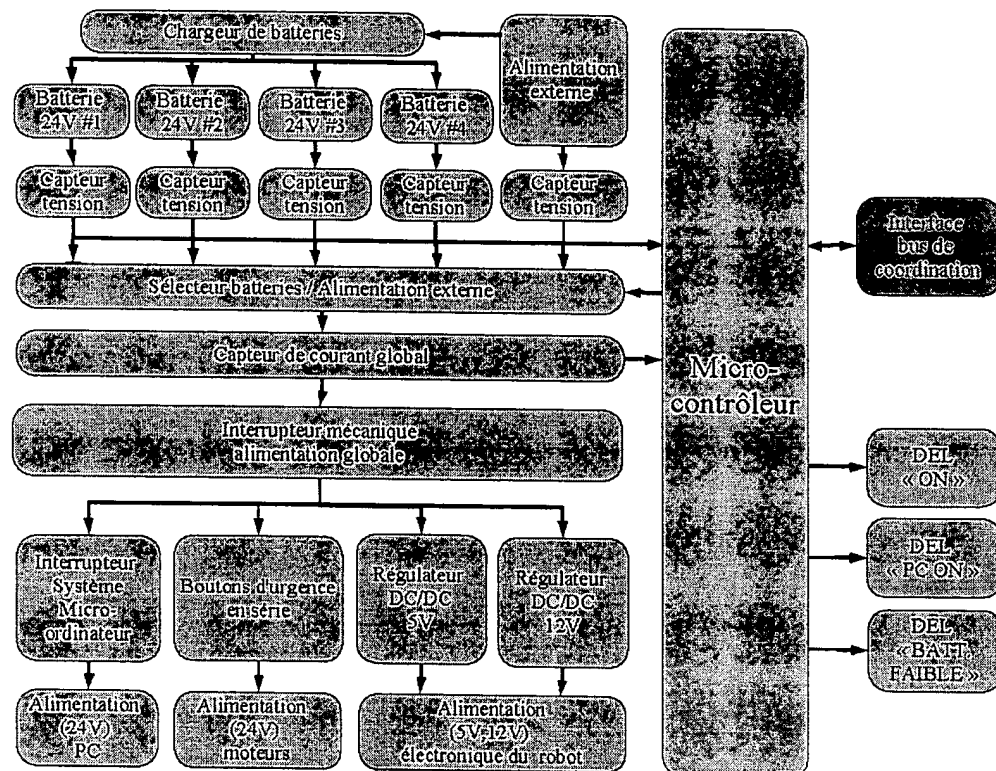


Figure 27 – Schéma-bloc du système Alimentation

10

- **Batteries.** Il est possible de connecter quatre batteries 24V indépendantes de haute capacité énergétique sur la carte d'alimentation du robot. Ces batteries peuvent être formées de plusieurs cellules.
- **Alimentation externe.** Le robot peut fonctionner soit avec ses batteries, soit avec son alimentation électrique externe. L'alimentation

externe de la plate-forme actuelle est de 500W. Dès qu'une source externe est détectée, toutes les batteries sont déconnectées et c'est l'alimentation externe qui fournit l'énergie au robot. Ceci permet de ne pas épuiser les batteries inutilement et de fonctionner sur le réseau électrique local. Il serait possible que l'alimentation externe recharge les batteries en même temps que d'alimenter le robot. Dans ce cas, les chargeurs doivent être incorporés directement sur la plate-forme.

- 5 ▪ **Capteurs de tension.** Pour chaque batterie et pour l'alimentation externe, il est possible de connaître la tension électrique fournie par le système Alimentation, avec l'aide de capteurs de tension. Les capteurs de tension sont lus périodiquement par le microcontrôleur, qui valide le bon fonctionnement de chaque batterie et qui permet de détecter les batteries faibles.
- 10 ▪ **Sélecteur de batteries et d'alimentation externe.** Le microcontrôleur peut sélectionner quelles batteries (de une à quatre) il est approprié d'utiliser en tout temps. Ceci permet une gestion active et indépendante des batteries, qui peuvent être déconnectées si elles fonctionnent mal ou si elles sont déchargées.
- 15 ▪ **Capteur de courant global.** Ce senseur donne au microcontrôleur le courant électrique consommé par les systèmes électriques et informatiques du robot, afin de calculer la consommation électrique du robot.
- 20 ▪ **Interrupteur mécanique d'alimentation globale.** Cet interrupteur permet de mettre en marche ou d'éteindre le robot. Sur la plate-forme, l'interrupteur est actionné par une clé, ce qui le rend plus sécuritaire.
- 25 ▪ **Interrupteur du système Micro-ordinateur.** Cet interrupteur permet de mettre en marche séparément le système Micro-ordinateur. Ainsi, il permet de ne pas énergiser le système Micro-ordinateur s'il est inutilisé afin de limiter la consommation énergétique du robot pour une plus grande autonomie avec ses batteries.
- 30

- 5 ▪ **Boutons d'urgence en série.** Le robot comprend deux interrupteurs (ou plus) d'urgence en série qui permettent de couper directement l'alimentation aux moteurs (c'est-à-dire en coupant les alimentations aux blocs « Alimentation ... 100A » de la figure 28) si un ou plusieurs interrupteurs sont enfoncés. Pour une plus grande sécurité, les interrupteurs demeurent enclenchés lorsqu'ils sont actionnés. L'utilisateur doit alors remettre les boutons dans le bon état avant que la plate-forme puisse bouger.
- 10 ▪ **Régulateur DC/DC 5V.** Ce régulateur de 50W est responsable de l'alimentation électrique 5V de l'électronique du robot, qui alimente tous les systèmes de la plate-forme.
- **Régulateur DC/DC 12V.** Ce régulateur de 50W est responsable de l'alimentation électrique 12V de l'électronique du robot, qui alimente tous les systèmes de la plate-forme.
- 15 ▪ **Microcontrôleur du système Alimentation.** Le microcontrôleur est responsable de la gestion énergétique du robot. Il sélectionne les batteries à utiliser, mesure les tensions et le courant du robot pour calculer la puissance instantanée (*Puissance = Tension * Courant*) à chaque cycle de calcul, ainsi que l'énergie consommée (somme de la puissance dans le temps). Ceci permet, entre autre, de gérer efficacement l'autonomie énergétique du robot en anticipant le temps restant d'utilisation des batteries. À n'importe quel instant, le microcontrôleur peut être interrogé par le système Contrôle Global par le bus de coordination, pour donner le résultat de ses calculs d'énergie restante, l'état de chaque batterie, savoir si les interrupteurs (en série) sont enclenchés et la puissance instantanée.
- 20
- 25 ▪ **Alimentation 24V du système PC.** Le système Micro-ordinateur (PC) comporte son propre régulateur de tension, qui est alimenté directement par les batteries qui passe par l'interrupteur du micro-ordinateur.
- 30

- **Alimentation 24V des moteurs.** Les moteurs de chaque système de Contrôle Local sont alimentés directement par les batteries, à travers les interrupteurs en série.
- 5 ▪ **Alimentation 5V, 12V.** Deux connecteurs comprenant quatre fils (5V, 12V, GND, RESET) sont disponibles pour l'alimentation des systèmes électriques.
- **DELS.**
 - 10 ○ **DEL « ON ».** Cette diode électroluminescente (verte) permet d'indiquer aux usagers que le robot est en fonctionnement. Elle est située sur un panneau de contrôle du robot (24).
 - **DEL « Micro-ordinateur ON ».** Cette diode électroluminescente (verte) permet d'indiquer aux usagers que le Micro-ordinateur du robot est alimenté. Elle est située sur le panneau de contrôle du robot (24).
 - 15 ○ **DEL « BATT FAIBLE ».** Cette diode électroluminescente (rouge) permet d'indiquer aux usagers que les batteries du robot sont faibles. Elle est située sur le panneau de contrôle du robot (24). Des signaux lumineux différents permettent d'indiquer quelles batteries sont faibles.

3.5 Système Contrôle Local

La plate-forme comprend quatre systèmes Contrôle Local qui permettent d'asservir les moteurs (le moteur de propulsion (48), le moteur de direction (26) et le moteur du tenseur (55)) de chaque patte. La figure 28 montre le schéma-bloc d'un système Contrôle Local. Il est composé de trois systèmes de puissance, soit un pour la propulsion, un pour la direction et un pour le tenseur. Chaque système de puissance est identique et permet de d'alimenter les moteurs et comprend des capteurs de position. La limite de courant est fixée à 100 ampères par moteur.

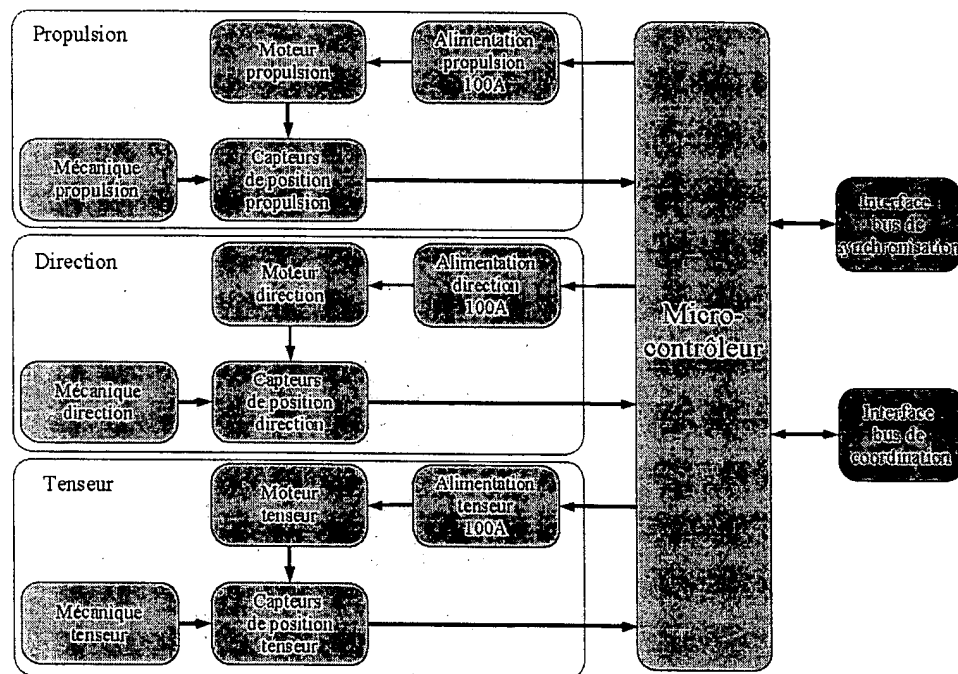


Figure 28 – Schéma-bloc d'un système Contrôle Local

- **Capteurs de position.** Les capteurs de positions sont divisés en trois catégories : les capteurs de fin de course, les capteurs optiques et les encodeurs. Seule la direction comprend des capteurs de fin de course,

qui sont en fait des interrupteurs de contact. Ces capteurs permettent de vérifier si la patte est à la limite de ses mouvements. Les capteurs optiques présents sur la direction et sur le tenseur permettent de vérifier la position d'initialisation de ceux-ci. La position d'initialisation est donnée quand un languette passe à travers le capteur pour couper l'émission du signal infrarouge. Finalement, les encodeurs de chacun des moteurs sont branchés sur des compteurs externes au microcontrôleur du système Contrôle Local. Ceci permet de limiter les traitements du microcontrôleur requis pour compter les transitions des encodeurs relatifs. Les compteurs s'incrémentent ou décrémentent selon le sens de la rotation du moteur. Le microcontrôleur peut interroger les compteurs à n'importe quel instant pour connaître le nombre de pulses comptées. D'autres capteurs de position pourraient également être installés sur la plate-forme. Par exemple, les compteurs et les encodeurs relatifs peuvent être remplacés par des encodeurs absolus (plus coûteux) qui permettent d'obtenir en une lecture la position exacte d'un degré de liberté.

- **Alimentation moteurs.** L'alimentation des moteurs est donnée par un circuit de puissance de moteur fabriquée spécialement la plate-forme afin de pouvoir fournir un courant de 100 ampères aux moteurs. Il est possible de lire le courant donné à chaque moteur dans les modules d'alimentation 100A. Ceci permet de savoir si un moteur est en blocage (*stall*), s'il force de manière inappropriée ou s'il est débranché.
- **Microcontrôleur du système Contrôle Local.** Le microcontrôleur est branché sur deux bus de communication. Le bus de coordination général sert à la communication entre tous les systèmes de la plate-forme. Ainsi, le système Contrôle Global peut transmettre des commandes de position angulaire, de vitesse et d'accélération à chacun de systèmes Contrôle Local pour qu'il puisse effectuer l'asservissement adéquat sur chacun des moteurs. Le bus de synchronisation, dédié aux quatre systèmes de propulsion, sert à la synchronisation des pattes.

Les systèmes Contrôle Local utilisent le bus de synchronisation pour effectuer l'asservissement simultané de tous les moteurs. Ceci permet de bouger les pattes en même temps pour la symétrie dans les mouvements.

5

3.6 Système Perception Local

La plate-forme comprend quatre systèmes Perception Local (un par patte). Le schéma-bloc d'un système Perception Locale est illustré à la figure 29. Chaque système est composé de capteurs de proximité (capteurs ultrasoniques et capteurs infrarouges) afin de détecter la présence d'objets à proximité du robot. Plusieurs configurations de capteurs peuvent être mises à profit pour obtenir un champ de perception approprié pour la plate-forme, en plaçant les capteurs à des endroits différents sur les pattes ou encore à 15 utilisant d'autres capteurs (petites caméras, capteurs de température, capteurs de luminosité, etc.). En premier lieu, en utilisant un agencement de sonars à longue portée et à courte portée, il est possible de détecter à la fois les obstacles éloignés et d'avoir une bonne précision pour les obstacles rapprochés. En second lieu, la combinaison des sonars à large champ et des 20 infrarouges à champs étroits permet d'identifier avec une bonne précision la position des obstacles. Finalement, quelques capteurs sont fixés sur la structure sous la coque, mais la plupart sont positionnés sur les pattes pivotantes. De cette façon, leur champ de perception est principalement dirigé dans la trajectoire de la plate-forme (qui est fonction de l'orientation des 25 pattes). Chaque patte étant mobile, il est aussi possible d'orienter la patte dans la direction où une perception des objets à proximité soit souhaitée. Une logique d'analyse des combinaisons de champ à longues et courtes portées, de champs larges et étroits et de champs fixes et mobiles est donc prévue pour la perception du robot mobile.

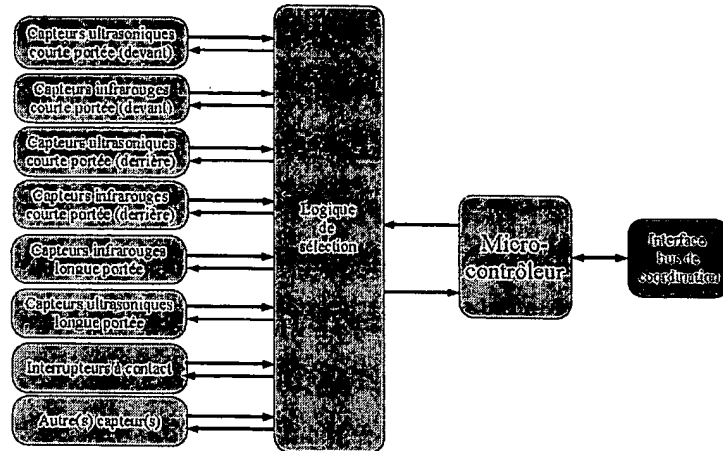


Figure 29 – Schéma-bloc du système Perception Locale

- 5

10

15

▪ **Capteurs ultrasoniques courte portée et Capteurs infrarouges courte portée.** Les capteurs à courte portée installés devant et derrière chaque patte bougent en même temps que la direction. Puisque ces capteurs sont installés de manière à détecter le plus d'obstacles possible dans un plan vertical, en bougeant la patte avec la direction il est possible d'observer l'environnement en trois dimensions. Le microcontrôleur interroge ces capteurs périodiquement pour obtenir des valeurs de distance.
- **Capteurs ultrasoniques longue portée et Capteurs infrarouges longue portée.** Les capteurs longue portée sont installés sur la structure sous la coque du robot. Ils permettent de détecter les obstacles qui sont plus loin du robot et non perceptibles par les capteurs à courte portée des pattes. Le microcontrôleur interroge ces capteurs périodiquement pour obtenir des valeurs de distance.
- **Interrupteurs de contact.** Les interrupteurs de contact détectent les collisions directes avec le robot. Ils peuvent être installés sur la structure du robot.

- **Logique de sélection.** À n'importe quel instant, le microcontrôleur peut sélectionner les capteurs qui sont en fonction. Ceci est nécessaire afin de limiter les interférences entre les capteurs d'une même patte et entre les capteurs des pattes.
- 5 ▪ **Microcontrôleur du système Perception Locale.** Le microcontrôleur reçoit les commandes et requêtes du système Contrôle Global pour obtenir les valeurs de distance des capteurs de courtes et longues portées, de l'état des interrupteurs de contact et l'activation ou la désactivation de chaque capteur.
- 10 ▪ **Autres capteurs.** D'autres capteurs peuvent être installés pour la perception de l'environnement : caméras, capteurs de chaleur, capteurs de luminosité, laser, etc.

3.7 Système Contrôle Global

15

Le système Contrôle Global permet la coordination des différents systèmes de la plate-forme. Il vient prendre les différentes informations des systèmes électriques et informatiques de la plate-forme afin de formuler des requêtes assurant la bonne marche de la plate-forme. La figure 30 montre le

20 schéma de fonctionnement du système de contrôle évolué.

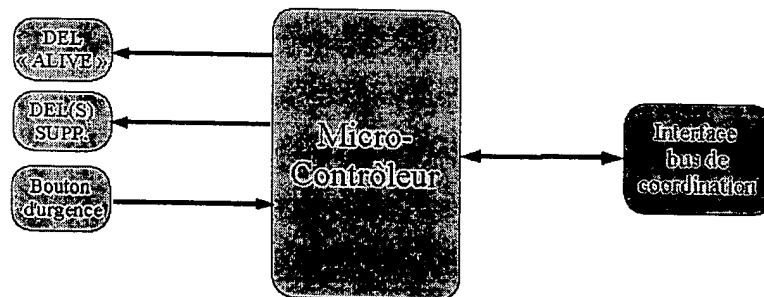


Figure 30 – Schéma-bloc du système Contrôle Global

- **DEL « Alive ».** Le microcontrôleur fait clignoter une diode électroluminescente (verte) pour indiquer aux usagers de la plate-forme qu'elle fonctionne normalement. Elle est située sur un panneau de contrôle du robot (24).
- 5 ▪ **DEL(S) supplémentaire(s).** Il est possible d'ajouter des diodes électroluminescentes supplémentaires pour refléter les états internes du microcontrôleur. Elle est située sur un panneau de contrôle du robot (24).
- 10 ▪ **Bouton(s) d'urgence.** Le microcontrôleur détecte quand les boutons d'urgences sont enclenchés et peut faire les actions nécessaires afin d'assurer la sécurité de la plate-forme. Les boutons sont situés aux quatre coins de la plaque de fixation d'accessoires (25), située sur le dessus de la plate-forme.
- 15 ▪ **Microcontrôleur du système Contrôle Global.** Le microcontrôleur est programmé pour la coordination des différents systèmes de la plate-forme. Il est aussi relié au bus de coordination pour la communication entre les systèmes. La principale tâche du système Contrôle Global est de faire fonctionner sécuritairement tous les systèmes selon les différents modes de fonctionnement, qui peuvent être interprétés
20 comme des états, et qui sont présentés à la figure 2. Ces modes de fonctionnement ont été simulés en trois dimensions avec un modèle de la plate-forme avant d'être incorporés dans le programme du microcontrôleur. Ceci permet la vérification de l'algorithme avant son implantation réelle. La description des différents modes est présentée à
25 la section 0. Les messages transmis et reçus sont les suivants :
 - Transmission des messages de requête et de configuration des systèmes Perception Locale sur chaque patte. Ceci permet de configurer quels capteurs sont activés et d'obtenir les valeurs de distance de ces capteurs.

- Transmission des messages de requête et de configuration des systèmes Contrôle Local sur chaque patte. Ceci permet de contrôler la position, la vitesse et l'accélération de chaque moteurs.
- 5 ▪ Transmission des messages de requête et de configuration du système Alimentation. Ceci permet d'activer ou de désactiver les batteries, lire la tension de chaque batterie, lire le courant global du robot, lire l'énergie consommée et l'énergie restante, et vérifier si les boutons d'urgence sont enfoncés.
- 10 ▪ Transmission des messages d'activation de chaque système de la plate-forme.
- Réception périodique (à toutes les 50ms environ) des messages d'état de chaque système électrique et informatique.
- 15 ▪ Réception des messages du système Télécommande qui envoie l'état de tous les boutons périodiquement (à toutes les 50 ms environ).

3.8 Système Télécommande

Le système Télécommande permet à la plate-forme d'être télécommandée par un usager. Ce système est décrit à la figure 31.

5

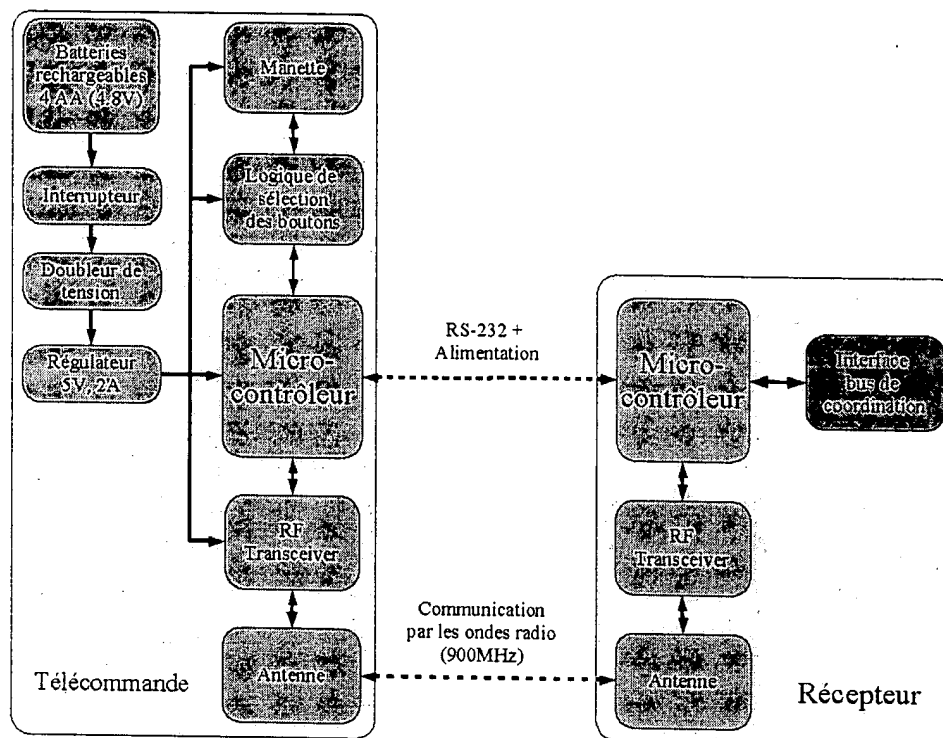


Figure 31 – Schéma-bloc du système Télécommande

Le système Télécommande est composé de deux éléments : la télécommande (élément externe au robot) et le récepteur (installé sur le robot). Les éléments de la télécommande sont :

10

- **Batteries rechargeables.** La télécommande externe utilise des batteries pour fonctionner. Il s'agit de batteries rechargeables traditionnelles « AA ».
- **Interrupteur.** L'interrupteur permet de contrôler l'alimentation de la télécommande.

15

- **Doubleur de tension et Régulateur 5V, 2A.** Pour que la télécommande puisse fonctionner avec les batteries de façon durable, il faut doubler la tension des batteries à 9.6 volts puis la réguler à 5V pour l'alimentation du microcontrôleur.
- 5 ▪ **Logique de sélection des boutons.** Avec cette logique, qui est effectuée par le multiplexage des lectures des niveaux de tension des boutons (qui sont en fait des résistances configurées en diviseur de tension variant selon la pression sur les boutons), le microcontrôleur de la télécommande sait quel(s) bouton(s) sont enfoncés.
- 10 ▪ **Transceiver RF et Antenne.** Le « transceiver » et l'antenne sont responsables de la communication par les ondes radio (transmission et réception) de l'état de la télécommande. Ils sont commandés par le microcontrôleur de la télécommande.
- 15 ▪ **Microcontrôleur de la télécommande.** Ce microcontrôleur est situé dans la télécommande. Il vérifie quel(s) bouton(s) sont enfoncés et envoie l'état de la télécommande au transmetteur RF.

Les éléments du récepteur sont :

- **Transceiver RF et Antenne.** Le « transceiver » et l'antenne sont responsables de la communication par les ondes radio (transmission et réception) de l'état de la télécommande.
- 20 ▪ **Microcontrôleur du récepteur.** Le microcontrôleur du récepteur reçoit du *Transceiver RF* l'état des boutons de la télécommande et transfère ces informations sur le bus de coordination. Le microcontrôleur ne reçoit pas de requêtes par le bus de coordination. Il fait seulement transmettre l'état de la télécommande à tous les systèmes qui peuvent recevoir les messages pour faire des actions en conséquence. Principalement, c'est le système Contrôle Global qui traite les messages du système Télécommande pour ensuite envoyer des messages aux moteurs par les systèmes Contrôle Local. Au lieu
- 25 d'utiliser la communication par ondes radio, il est aussi possible de lier directement la télécommande au microcontrôleur du récepteur par un
- 30

lien série RS-232. Ceci permet d'éviter les problèmes d'interférence radio.

3.9 Système Interface-Usager

5

Le système Interface-Usager permet de visualiser l'état de la plate-forme. Pour y arriver, une interface de type PDA (*Personal Data Assistant*, comme un *Palm Pilot*) est installée sur le robot. La figure 32 présente le schéma-bloc du système Interface-Usager.

10

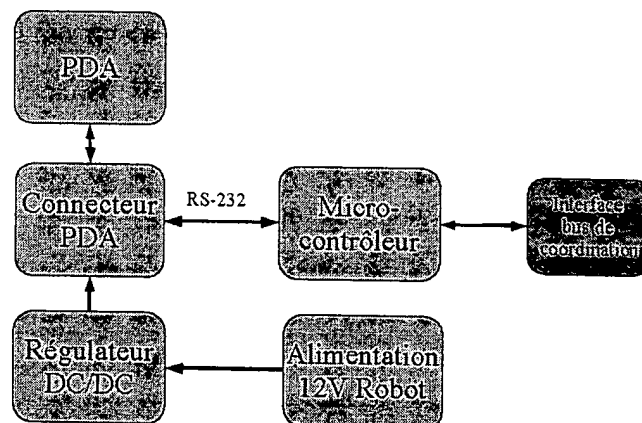


Figure 32 – Schéma-bloc du système Interface-Usager

Voici les éléments importants faisant partie du système PDA :

- **PDA.** Le PDA installé sur la plate-forme permet la visualisation en temps réel de façon graphique de l'état du robot et permet aussi à

15

l'utilisateur de changer les modes de fonctionnement du robot. Les informations disponibles par le PDA sont: tension des batteries, informations de l'inclinomètre, mode de fonctionnement actuel, courant de chaque moteur, position de chaque moteur, vitesse de propulsion, courant circulant dans le robot, énergie disponible, informations de tous les senseurs. Le PDA est facilement reprogrammable pour ajouter différents écrans de configuration ou de visualisation des données. Également, il peut servir de console pour le bus de coordination afin de visualiser les messages qui y sont transmis. Ceci permet aux concepteurs de valider l'échange des messages sur le bus.

- **Connecteur PDA.** Ce connecteur est responsable de l'alimentation électrique du PDA et de la communication série RS-232.
- **Alimentation 12V Robot.** L'alimentation 12V est nécessaire pour le bon fonctionnement du PDA.
- **Régulateur DC/DC.** À partir de l'alimentation 12V, le régulateur DC/DC permet de faire chuter la tension à 5.2V. La tension de 5.2V est nécessaire pour l'alimentation électrique et la recharge du PDA. Le régulateur doit être capable de fournir un courant minimum de 2 ampères (2A) pour le bon fonctionnement du PDA.
- **Microcontrôleur du système Interface-Usager.** Le microcontrôleur fait l'interface avec le bus de coordination. Il permet la gestion des messages qui sont destinés au PDA en appliquant des filtres qui permettent de consulter seulement certains types de messages ou ceux qui viennent de systèmes électriques et informatiques en particulier. Plus particulièrement, les filtres qui sont appliqués permettent de lire la tension et l'énergie restante du système Alimentation, de savoir la position et les courants de chaque moteur des systèmes Contrôle Local, de connaître l'état de chaque capteur sur les systèmes Perception Locale et d'obtenir les valeurs d'inclinaison du système Inclinomètre. Le microcontrôleur permet également la transmission de messages d'arrêts d'urgence au système Contrôle Global.

3.10 Système Inclinomètre

Le système Inclinomètre consiste en un microcontrôleur connecté par un lien série RS-232 à un inclinomètre² pouvant donner le roulis, le tangage et l'orientation par rapport à l'origine magnétique (le nord d'une boussole électronique). Le schéma-bloc de ce système est montré à la figure 33.

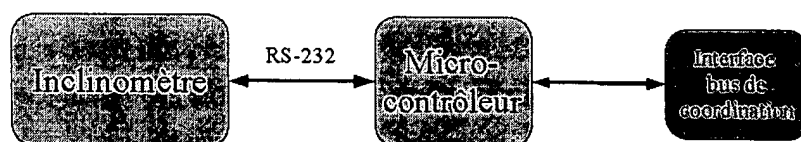


Figure 33 – Schéma-bloc du système Inclinomètre

- 10 ▪ **Inclinomètre.** L'inclinomètre est très utile lors du déplacement de la plate-forme sur des terrains accidentés. Il permet de calculer le roulis et le tangage avec des inclinaisons dans l'intervalle -70 à 70 degrés. L'orientation magnétique peut aussi être donnée sur 360 degrés. L'inclinomètre est ainsi un outil de navigation indispensable lorsque qu'il
- 15 s'agit de traverser des obstacles comme des escaliers ou des terrains avec des variations importantes. Également, l'inclinomètre choisi peut nous donner la température ambiante. Puisqu'il est installé à l'intérieur du robot, la température mesurée peut être très utile pour vérifier si la ventilation fonctionne bien et qu'elle garde le robot dans des conditions
- 20 d'opérations adéquates.
- **Microcontrôleur du système Inclinomètre.** Le microcontrôleur assure la lecture de l'inclinomètre via un lien série RS-232 à une vitesse maximale de 38400 baud. C'est lui qui permet de faire l'interface avec le bus de coordination pour que tous les systèmes ayant besoin des

² <http://www.aositilt.com/Compass.htm>

valeurs de l'inclinomètre puissent communiquer facilement avec lui. Le microcontrôleur permet le traitement des requêtes pour le tangage, le roulis, l'orientation et la température et permet de vérifier le bon fonctionnement de l'inclinomètre. Les requêtes sont envoyés principalement par le système Contrôle Global lorsque la plate-forme est dans le mode « Déplacement Chenilles à Plat ». Les requêtes viennent également du système Interface-Usager qui affiche à l'utilisateur les valeurs de l'inclinomètre.

3.11 Système Micro-ordinateur

Le système Micro-ordinateur est le système qui comporte la plus grande capacité de calcul sur la plate-forme. Il est décrit à la figure 34.

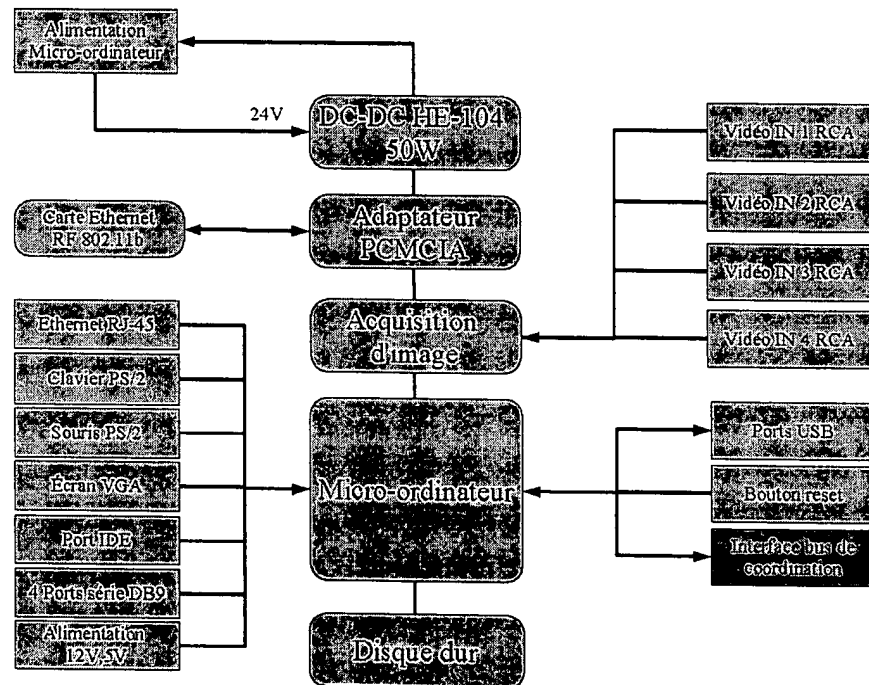


Figure 34 – Schéma-bloc du système Micro-ordinateur

- **DC-DC HE-104.** Le convertisseur DC-DC HE-104³ sert à l'alimentation de tous le système Micro-ordinateur : adaptateur PCMCIA, carte d'acquisition d'images, micro-ordinateur, ventilateur, disque dur, carte Ethernet RF, etc.
- 5 ▪ **Adaptateur PCMCIA.** N'importe quelle carte PCMCIA peut être insérée dans l'adaptateur PCMCIA. Au total, deux cartes peuvent être incorporées. Dans le cas de la plate-forme, une seule carte est utilisée pour la communication Ethernet sans fil (802.11b).
- 10 ▪ **Acquisition d'images.** Quatre caméras peuvent être reliées à la carte d'acquisition d'images (via les ports Vidéo IN RCA). Ceci permet le traitement numérique des images par le micro-ordinateur.
- 15 ▪ **Micro-ordinateur.** Le micro-ordinateur (de type PC/104 dans la version actuelle de la plate-forme) comprenant une interface PCI et ISA standardisée et les périphériques ordinairement trouvés sur n'importe quel micro-ordinateur traditionnel : clavier, souris, USB, carte réseau, carte audio, carte graphique. Tous ces ports sont rendus accessibles sur le robot via un panneau (21). Les programmes qui fonctionnent sur le micro-ordinateur lui permettent de communiquer avec le reste du robot par l'entremise du bus de coordination, et permettent de réaliser des fonctions plus complexes que celles réalisées par les microcontrôleurs des autres systèmes électriques et informatiques de la plate-forme.
- 20 ▪ **Disque dur.** Le disque dur de grande capacité permet l'installation de systèmes d'exploitation et d'applications logicielles pour le micro-ordinateur. La plate-forme utilise le système d'exploitation Linux qui supporte une vaste gamme de périphériques. Les données prises à partir du micro-ordinateur peuvent aussi être archivés sur le disque dur pour utilisation ultérieure.
- 25

³ <http://www.tri-m.com/>

- **Autres périphériques.** D'autres périphériques peuvent être branchés au besoin sur le micro-ordinateur selon les ports disponibles sur le micro-ordinateur.

5 Bien que la présente invention ait été décrite par le biais d'un mode de réalisation illustratif, ce mode de réalisation peut toutefois être modifié ou adapté sans sortir de la nature et du cadre de la présente invention.